



**Universidad Tecnológica de la Mixteca**

**“Desarrollo de personajes virtuales 3D para el sitio arqueológico  
de Monte Albán, Oaxaca”**

**T E S I S**

Para obtener el grado de:  
**Maestra en Medios Interactivos**

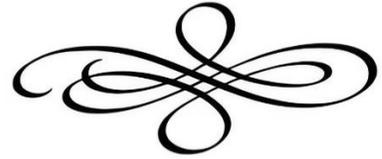
Presenta:  
**Yuliana García Amaya**

Director de Tesis:  
**Dr. José Aníbal Arias Aguilar**

Co-Director de Tesis:  
**Dr. Daniel Pacheco Bautista**

Huajuapán de León, Oaxaca, Marzo de 2022.

**A MIS PADRES**  
POR SU AMOR, MOTIVACIÓN  
Y APOYO INCONDICIONAL



## Agradecimientos

A Dios, por su infinita bondad.

A mi Director de Tesis, Dr. José Aníbal Arias Aguilar, por la oportunidad de desarrollar este tema de Tesis, por su apoyo y paciencia.

Especialmente, a mi Co-Director de Tesis, Dr. Daniel Pacheco Bautista, por la asesoría brindada durante el desarrollo de esta Tesis, sus conocimientos compartidos, sugerencias y constancia en la revisión del trabajo fueron clave para culminar de la mejor manera este proyecto.

A mis revisores de Tesis, M.R.C. Mónica Edith García García, M.C. Ma. De la Luz Palacios Villavicencio, M.A.V. Alejandro Alberto Bravo y M.G.G.I. Jorge Espinoza Colón, por el tiempo dedicado a la revisión de este documento y por las sugerencias realizadas para la mejora de este trabajo.

A la Universidad del Istmo, por las facilidades brindadas para la culminación de esta Tesis.



# Desarrollo de personajes virtuales 3D para el sitio arqueológico de Monte Albán, Oaxaca.

## Resumen

El desarrollo de tecnologías 3D ha permitido nuevas maneras de promocionar, observar y experimentar el patrimonio cultural. Mediante el modelado 3D se puede crear, recrear y reconstruir virtualmente un determinado bien cultural, en donde las personas pueden desplazarse utilizando un avatar o personaje.

Esta tesis se enfoca en la creación de personajes virtuales 3D para el sitio arqueológico de Monte Albán, Oaxaca. Para su desarrollo fue necesario conocer y aplicar el proceso metodológico completo, desde la definición del concepto, *sketch art*, modelado, mapeado UV, texturizado, *rigging*, animación y exportación al motor gráfico. También se investigaron los aspectos más relevantes de la cultura zapoteca, que habitó la gran ciudad de Monte Albán durante su periodo de mayor esplendor, haciendo énfasis en la indumentaria, que incluye el calzado, tocado, adornos y armas de guerra, con la finalidad de obtener referentes visuales y conceptuales aplicables al diseño de los personajes.

Siguiendo el proceso metodológico se desarrollaron dos personajes, un guerrero zapoteca y un jaguar, que fueron modelados y texturizados utilizando herramientas de escultura digital en Zbrush y optimizados para obtener modelos de baja poligonización; mismos que fueron articulados y animados en 3dsMax. Las animaciones generadas corresponden a las principales acciones de los personajes dentro del entorno: condición inmóvil, caminar, correr y saltar.

Por último, se llevó a cabo la implementación de los personajes en la plataforma de Unity y se programaron las secuencias de movimiento. Posteriormente, se evaluó el funcionamiento de las acciones mediante pruebas de movimiento que permitieron detectar situaciones problema y hacer mejoras para una buena funcionalidad.

# Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 Objetivo general .....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Alcances y limitaciones .....	6
1.5 Casos análogos.....	7
1.5.1 <i>Pok ta Pok</i> (2011).....	7
1.5.2 Aztez (2017).....	9
1.5.3 Mulaka (2018).....	10
1.5.4 Recorrido virtual de Tenochtitlan (2021) .....	11
1.5.5 Conclusiones de la revisión de casos análogos .....	12
1.6 Estructura de la tesis.....	13
<b>2. Fundamentos para la creación de personajes 3D</b> .....	<b>15</b>
2.1 Definición del concepto .....	16
2.1.1 Puntos de vista del personaje .....	16
2.1.2 Tipos de personajes .....	17
2.2 <i>Sketch art</i> .....	18
2.3 Modelado 3D .....	18
2.3.1 Técnicas de modelado .....	19
2.3.1.1 Modelado por polígonos .....	19
2.3.1.2 Superficies NURBS .....	20
2.3.1.3 Escultura digital .....	21
2.4 Mapeado UV .....	22
2.5 Texturizado .....	22
2.5.1 Mapas de textura.....	23
2.6 <i>Rigging</i> .....	24
2.7 Animación .....	25
2.7.1 Técnicas de animación.....	25
<b>3. Análisis del entorno</b> .....	<b>27</b>
3.1 Monte Albán .....	27
3.1.1 Cronología de Monte Albán.....	28
3.2 La cultura zapoteca .....	29
3.2.1 Organización económica.....	29
3.2.2 Organización política y social .....	30

3.2.3 Religión y cosmovisión.....	31
3.2.4 Milicia y conquista .....	32
<b>3.3 Indumentaria.....</b>	<b>33</b>
3.3.1 Vestimenta femenina .....	34
3.3.1.1 Cuéitl o Enredo.....	34
3.3.1.2 huipil.....	34
3.3.1.3. Quechquémitl.....	35
3.3.2 Vestimenta masculina .....	35
3.3.2.1 Taparrabos o Maxtlatl .....	35
3.3.2.2 Paño de cadera o faldellín .....	36
3.3.2.3 Tilma o tilmatli .....	36
3.3.3 Vestimenta de guerra .....	36
3.3.3.1 Ichcahuipilli .....	36
3.3.3.2 Trajes enteros (Tlahuiztli).....	37
3.3.3.3 Ehuatl .....	37
3.3.4 Vestimenta ceremonial.....	38
3.3.4.1 Xicolli .....	38
3.3.5 El calzado .....	38
3.3.6 El Tocado .....	39
3.3.7 Adornos .....	40
3.3.7.1 Orejeras .....	40
3.3.7.2 Bezotes .....	40
3.3.7.3 Narigueras .....	41
3.3.7.4 Joyería sobrepuesta .....	42
3.3.8 Armas de guerra .....	43
3.3.9 Referentes visuales.....	44
<b>4. Desarrollo de los personajes.....</b>	<b>47</b>
4.1 Herramientas utilizadas .....	47
4.2 Personaje 1: Guerrero zapoteca .....	48
4.2.1 Definición del concepto .....	48
4.2.2 <i>Sketch Art</i> .....	51
4.2.3 Modelado 3D .....	52
4.2.3.1 Creación de la malla en alta resolución (Topología) .....	52
4.2.4 Texturizado .....	59
4.2.4.1 Creación de la malla en baja resolución (Retopología) .....	63
4.2.5 Mapeado UV .....	65
4.2.5.1 Mapas de textura .....	66
4.2.6 <i>Rigging</i> .....	67
4.2.7 Animación .....	69
4.2.7.1 Inmóvil.....	69
4.2.7.2 Caminar .....	70
4.2.7.3 Correr .....	72
4.2.7.4 Saltar .....	73
4.3 Personaje 2: Jaguar .....	74
4.3.1 Definición del concepto .....	74
4.3.2 Sketch art.....	75
4.3.3 Modelado 3D .....	76
4.3.3.1 Creación de la malla en alta resolución (Topología) .....	76
4.3.4 Texturizado .....	78
4.3.4.1 Creación de la malla en baja resolución (Retopología) .....	80

4.3.5 Mapeado UV .....	81
4.3.5.1 Mapas de textura .....	81
4.3.6 Rigging.....	82
4.3.7 Animación .....	83
4.3.7.1 Inmóvil .....	83
4.3.7.2 Caminar .....	84
4.3.7.3 Correr.....	85
4.3.7.4 Saltar.....	85
<b>5. Resultados.....</b>	<b>87</b>
5.1 Implementación de los personajes en Unity .....	87
5.2. Pruebas .....	96
5.2.1 Prueba de movimiento .....	96
5.3. Depuración .....	97
5.3.1 Problema de animación correr del guerrero .....	98
5.3.2 Problema de animación correr del jaguar .....	98
5.3.3 Problema en cambio de dirección .....	101
5.4 Resultado final .....	102
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>107</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>109</b>

# Índice de Figuras

FIGURA 1. ESCENARIOS DEL JUEGO <i>POK TA POK</i> : CHICHEN-ITZÁ Y PALENQUE. ....	8
FIGURA 2. PERSONAJES DEL JUEGO <i>POK TA POK</i> .....	8
FIGURA 3. XICO, PERRO <i>XOLOITZCUINTLE</i> .....	9
FIGURA 4. ESCENARIOS DEL JUEGO AZTEZ. ....	9
FIGURA 5. PERSONAJES GUERREROS DEL JUEGO AZTEZ. ....	10
FIGURA 6. ESCENARIOS DEL JUEGO MULAKA. ....	10
FIGURA 7. PERSONAJES DEL JUEGO MULAKA. ....	11
FIGURA 8. ESCENARIOS DEL ENTORNO VIRTUAL DE TENOCHTITLÁN. ....	11
FIGURA 9. PERSONAJES DEL ENTORNO VIRTUAL DE TENOCHTITLÁN. ....	12
FIGURA 10. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE PERSONAJES 3D. ....	15
FIGURA 11. VISTA EN PRIMERA PERSONA.....	16
FIGURA 12. VISTA EN TERCERA PERSONA. ....	17
FIGURA 13. HOJA MODELO DEL PERSONAJE SPIDERMAN.....	18
FIGURA 14. FORMACIÓN DE UN MODELO POLIGONAL. ....	19
FIGURA 15. MODELADO DE UNA MANO USANDO <i>BOX MODELLING</i> . ....	20
FIGURA 16. CURVA NURBS Y SUPERFICIE NURBS. ....	21
FIGURA 17. ESCULPIDO CON HERRAMIENTAS EN MUDBOX Y CON HERRAMIENTAS TRADICIONALES. ....	21
FIGURA 18. MODELO 3D Y DISPOSICIÓN DE UVs. ....	22
FIGURA 19. USO DE LOS DIFERENTES MAPAS DE TEXTURA. ....	24
FIGURA 20. <i>BIPED</i> EN 3DSMAX. ....	24
FIGURA 21. SITIO ARQUEOLÓGICO DE MONTE ALBÁN.....	27
FIGURA 22. ESTRATOS SOCIALES DE LOS ZAPOTECAS. ....	30
FIGURA 23. CEREMONIA FUNERARIA EN LA TUMBA 104. ....	31
FIGURA 24. ESCULTURA DEL JAGUAR, MONTE ALBÁN, PERIODO CLÁSICO. ....	32
FIGURA 25. REPRESENTACIÓN DEL ENREDO.....	34
FIGURA 26. REPRESENTACIÓN DEL HUIPIL. ....	34
FIGURA 27. REPRESENTACIÓN DEL <i>QUECHQUÉMIL</i> . ....	35
FIGURA 28. REPRESENTACIÓN DEL TAPARRABOS. ....	35
FIGURA 29. REPRESENTACIÓN DEL PAÑO DE CADERA. ....	36
FIGURA 30. REPRESENTACIÓN DE LA TILMA. ....	36
FIGURA 31. REPRESENTACIÓN DEL <i>ICHCAHUIPILLI</i> . ....	37
FIGURA 32. REPRESENTACIÓN DEL <i>TLAHUIZTLI</i> .....	37
FIGURA 33. REPRESENTACIÓN DEL <i>XICOLLI</i> MIXTECO.....	38
FIGURA 34. SANDALIAS ( <i>CACTLI</i> ).....	38
FIGURA 35. TOCADO CON CINTA FRONTAL Y EN COLUMNA. ....	39
FIGURA 36. URNA DEL SEÑOR 8 TEMBLOR, ATZOMPA. ....	39
FIGURA 37. OREJERA DE JADE Y PERSONAJES DEL CÓDICE <i>NUTALL</i> QUE PORTAN OREJERAS CON PENDIENTES. ....	40
FIGURA 38. BEZOTE DE ORO CON CABEZA DE ÁGUILA, CULTURA MIXTECA. ....	41
FIGURA 39. COLOCACIÓN DE LA NARIGUERA AL SEÑOR 8 VENADO. ....	41
FIGURA 40. URNA ZAPOTECA CON COLLARES Y OREJERAS.....	42
FIGURA 41. PECTORAL DEL DIOS MURCIÉLAGO Y POSICIÓN DE LAS PIEZAS. ....	42
FIGURA 42. ARMAS DE GUERRA UTILIZADOS POR LOS ZAPOTECAS. ....	43
FIGURA 43. GUERREROS ZAPOTECOS Y MIXTECOS, POSCLÁSICO. ....	43
FIGURA 44. GUERREROS MIXTECOS Y OTROS GUERREROS NATIVOS.....	44
FIGURA 45. PERSONAJES ZAPOTECOS: JEFE MILITAR (1), BATERISTA (2) Y SACERDOTE (3). ....	45
FIGURA 46. PERSONAJES MIXTECOS: REINA MIXTECA (1), SACERDOTE ORACULAR (2) Y HONDERO (3). ....	45
FIGURA 47. PERSONAJES MIXTECOS: JEFE MILITAR (1), SACERDOTE (2) Y ABANDERADO (3).....	46
FIGURA 48. REFERENCIAS VISUALES DEL ROSTRO ZAPOTECO. ....	50
FIGURA 49. PERSONAJE 5 FLOR, CÓDICE NUTALL. ....	50

FIGURA 50. HOJA MODELO EN BLANCO Y NEGRO DEL GUERRERO ZAPOTECA .....	51
FIGURA 51. HOJA MODELO EN COLOR DEL GUERRERO ZAPOTECA .....	52
FIGURA 52. MODELO BASE EN ZBRUSH .....	53
FIGURA 53. ESCULPIDO DEL TORSO .....	53
FIGURA 54. ESCULPIDO DE LOS BRAZOS .....	54
FIGURA 55. ESCULPIDO DE LAS PIERNAS .....	54
FIGURA 56. ESCULPIDO DE LA CABEZA .....	54
FIGURA 57. MODELADO DEL CABELLO .....	55
FIGURA 58. MODELADO DEL TAPARRABO Y FALDELLÍN .....	55
FIGURA 59. MODELADO DE LA PECHERA .....	56
FIGURA 60. MODELADO DE PULSERAS Y CALZADO .....	56
FIGURA 61. MODELADO DE OREJERAS Y NARIGUERA .....	56
FIGURA 62. MODELADO DEL TOCADO .....	57
FIGURA 63. GEOMETRÍA RADIAL APLICADA A LAS PLUMAS DEL TOCADO .....	57
FIGURA 64. MODELADO DE LA LANZA .....	58
FIGURA 65. MODELO EN ALTA RESOLUCIÓN DEL GUERRERO ZAPOTECA .....	58
FIGURA 66. MATERIAL Y COLORES EMPLEADOS EN EL CUERPO DEL PERSONAJE .....	59
FIGURA 67. TEXTURIZADO DEL TAPARRABO Y FALDELLÍN .....	60
FIGURA 68. TEXTURIZADO DE LA PECHERA .....	60
FIGURA 69. TEXTURIZADO EN PULSERAS Y CALZADO .....	61
FIGURA 70. TEXTURIZADO EN CABELLO, OREJERAS Y NARIGUERA .....	61
FIGURA 71. TEXTURIZADO EN TOCADO Y OTROS ACCESORIOS .....	62
FIGURA 72. TEXTURIZADO DEL GUERRERO ZAPOTECA .....	62
FIGURA 73. LÍNEAS GUÍA Y RETOPOLOGÍA DEL CUERPO, VISTA FRONTAL .....	63
FIGURA 74. LÍNEAS GUÍA Y RETOPOLOGÍA DEL CUERPO, VISTA POSTERIOR .....	64
FIGURA 75. TRAZO DE LÍNEAS GUÍA Y RESULTADO DE LA RETOPOLOGÍA EN LA CARA .....	64
FIGURA 76. COMPARATIVA MALLA <i>HIGH POLY</i> VS MALLA <i>LOW POLY</i> .....	65
FIGURA 77. ÁREAS COLOREADAS Y COSTURAS GENERADAS .....	66
FIGURA 78. COSTURAS FINALES Y DISTRIBUCIÓN DE UVs .....	66
FIGURA 79. MAPA DIFUSO, MAPA NORMAL Y MAPA DE DESPLAZAMIENTO DEL GUERRERO .....	67
FIGURA 80. AJUSTES DEL <i>BIPED</i> PARA EL GUERRERO ZAPOTECA .....	68
FIGURA 81. ÁREA DE MOVILIDAD EN LA PIERNA DEL PERSONAJE .....	69
FIGURA 82. CICLO DE LA ANIMACIÓN INMÓVIL DEL GUERRERO .....	70
FIGURA 83. <i>BIPED</i> UTILIZANDO <i>FOOTSTEP MODE</i> EN 3DSMAX .....	71
FIGURA 84. CICLO CAMINAR DEL GUERRERO .....	72
FIGURA 85. CICLO CORRER DEL GUERRERO .....	72
FIGURA 86. ANIMACIÓN DE IMPULSO PARA SALTAR DEL GUERRERO .....	73
FIGURA 87. ANIMACIÓN DE SUSPENSIÓN EN EL AIRE DEL GUERRERO .....	73
FIGURA 88. HOJA MODELO EN BLANCO Y NEGRO DEL JAGUAR .....	75
FIGURA 89. HOJA MODELO EN COLOR DEL JAGUAR .....	76
FIGURA 90. MODELO BASE PARA EL JAGUAR .....	76
FIGURA 91. ESCULPIDO DEL CUERPO DEL PERSONAJE .....	77
FIGURA 92. MODELADO DE PULSERAS Y COLLAR .....	77
FIGURA 93. MODELADO FINAL DEL JAGUAR .....	78
FIGURA 94. USO DE <i>SPOTLIGHT</i> PARA EL TEXTURIZADO .....	78
FIGURA 95. TEXTURIZADO EN LA CARA DEL JAGUAR .....	79
FIGURA 96. TEXTURIZADO DEL JAGUAR .....	79
FIGURA 97. LÍNEAS GUÍA Y RETOPOLOGÍA EN LA CARA DEL JAGUAR .....	80
FIGURA 98. COMPARATIVA MALLA <i>HIGH POLY</i> VS MALLA <i>LOW POLY</i> DEL JAGUAR .....	80
FIGURA 99. COSTURAS FINALES Y DISTRIBUCIÓN DE UVs .....	81
FIGURA 100. MAPA DIFUSO, MAPA NORMAL Y MAPA DE DESPLAZAMIENTO .....	82
FIGURA 101. CREACIÓN DEL ESQUELETO PARA EL JAGUAR .....	82
FIGURA 102. ÁREAS DE MOVILIDAD EN LA PATA DEL JAGUAR .....	83

FIGURA 103. CICLO DE LA ANIMACIÓN INMÓVIL DEL JAGUAR.....	83
FIGURA 104. FOTOGRAMAS CLAVE DEL MOVIMIENTO DE LA CABEZA. ....	84
FIGURA 105. CICLO CAMINAR DEL JAGUAR. ....	84
FIGURA 106. CICLO CORRER DEL JAGUAR.....	85
FIGURA 107. CICLO SALTAR DEL JAGUAR. ....	85
FIGURA 108. CONFIGURACIÓN DEL RIG Y AVATAR AGREGADO COMO SUB-ASSET. ....	88
FIGURA 109. BUCLES DE ANIMACIÓN APROPIADOS.....	88
FIGURA 110. COMPONENTES ASIGNADOS AL PERSONAJE. ....	89
FIGURA 111. <i>BLEND TREE</i> Y CONFIGURACIÓN DE LOS CLIPS DE ANIMACIÓN. ....	91
FIGURA 112. <i>ANIMATOR</i> QUE INCLUYE LA ANIMACIÓN CORRER.....	92
FIGURA 113. <i>ANIMATOR</i> QUE INCLUYE LA ANIMACIÓN SALTAR. ....	94
FIGURA 114. <i>CAPSULE COLLINDER</i> EN LOS PIES DEL GUERRERO. ....	96
FIGURA 115. <i>ANIMATOR</i> DEL GUERRERO.....	97
FIGURA 116. <i>ANIMATOR</i> FINAL DEL GUERRERO.....	98
FIGURA 117. <i>ANIMATOR</i> FINAL DEL JAGUAR.....	99
FIGURA 118. CICLO CAMINAR CON GIRO. ....	101
FIGURA 119. <i>BLEND TREE</i> FINAL DEL GUERRERO.....	101
FIGURA 120. GUERRERO ZAPOTECA EN POSICIÓN INMÓVIL. ....	102
FIGURA 121. GUERRERO ZAPOTECA QUE REALIZA LA ACCIÓN CAMINAR. ....	103
FIGURA 122. GUERRERO ZAPOTECA QUE REALIZA LA ACCIÓN CORRER.....	103
FIGURA 123. GUERRERO ZAPOTECA CUANDO TOMA IMPULSO PARA SALTAR Y CUANDO ESTÁ EL AIRE. ....	104
FIGURA 124. JAGUAR EN POSICIÓN INMÓVIL.....	104
FIGURA 125. JAGUAR QUE REALIZA ACCIÓN CAMINAR.....	105
FIGURA 126. JAGUAR QUE REALIZA ACCIÓN CORRER. ....	105
FIGURA 127. JAGUAR CUANDO TOMA IMPULSO PARA SALTAR Y CUANDO ESTÁ EN EL AIRE. ....	105

# Índice de Tablas

TABLA 1. CRONOLOGÍA DE MONTE ALBÁN. ....	28
TABLA 2. TRASFONDO DEL GUERRERO ZAPOTECA. ....	49
TABLA 3. TRASFONDO DEL JAGUAR. ....	75

# 1. Introducción

**E**n la actualidad, el uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC's) se ha extendido en diversos contextos. Entre las herramientas disponibles y debido a las posibilidades y ventajas que ofrecen destacan los Entornos Virtuales (EV). Sus aplicaciones han sido numerosas, sobre todo en la industria del entretenimiento (videojuegos), así como herramientas de apoyo, difusión y entrenamiento en diversas áreas, como la medicina (Heinrichs et al., 2017, Delgado et al., 2020), educación (Afrooz et al., 2019), arquitectura (Jepson et al., 1996), turismo (Zuñiga et al., 2014), entre otras.

Un entorno virtual “es una aplicación para computadora que le permite al usuario navegar e interactuar con un ambiente tridimensional en tiempo real utilizando una interfaz de usuario (IU)” (Narciso et al., 2004, p. 1). La tipología de los entornos virtuales va desde los relativamente simples a los muy complejos. Un entorno virtual no inmersivo, es aquel en el que el usuario interactúa con el ambiente virtual a través de periféricos como el teclado y el ratón de la computadora. Mientras que en un entorno virtual inmersivo la interacción con el ambiente 3D se da mediante cascos, guantes y otros accesorios para el cuerpo (Gutiérrez, 2002, p. 94-95).

La configuración de entornos virtuales 3D ha tenido relevancia en los últimos tiempos, especialmente en el campo del patrimonio cultural. Poco a poco se ha convertido en una de las herramientas más dinámica, interactiva y asequible para integrar el entorno, objetos y conocimientos asociados a la cultura (Bogdanovich et al., 2010). Las reconstrucciones virtuales se han vuelto populares, brindando a los visitantes la oportunidad de navegar a través de modelos digitales que reconstruyen edificios y objetos históricos e inspeccionarlos desde diferentes ángulos y proximidad. De esta manera, los turistas pueden tomar decisiones más conscientes y tener expectativas más realistas, incluso puede aumentar el interés de las visitas reales al lugar. Las aplicaciones virtuales incrementan la accesibilidad a las personas, que en ocasiones se puede ver

limitada por el costo, la distancia o el riesgo que implica, también permite el acceso a zonas desaparecidas o restringidas al público y a personas discapacitadas.

Con el fin de expandir la experiencia del usuario, algunas aplicaciones del patrimonio cultural como los museos han incluido personajes virtuales de apariencia y comportamiento igual a los habitantes originales; éstos interactúan con el usuario y el entorno usando acciones como moverse, manejar herramientas o hablar (Rahaman, 2018). Los personajes enfocados a este tipo de entornos pueden desempeñar diferentes roles: pueden ser decorativos, cuando son utilizados para la simulación de habitantes del sitio reconstruido, como portadores de conocimiento o también como guías (Bogdanovich et al., 2010, pp. 620-621). El objetivo de integrar personajes en el entorno virtual es que los usuarios tengan una experiencia más realista (Lee et al., 2010).

Hay dos tipos de personajes virtuales: los avatares y los agentes. Un avatar es la representación virtual perceptible, cuyos comportamientos reflejan los ejecutados por un ser humano específico. En contraste, un agente es una representación digital cuyos comportamientos reflejan un algoritmo computacional, diseñado para cumplir objetivos específicos (Bailenson & Blascovich, 2004). Por lo tanto, el usuario controla el comportamiento del avatar, mientras que los algoritmos controlan el comportamiento del agente; en ambos casos, esto sucede en tiempo real.

La figura del *avatar* como representación gráfica del usuario dentro del entorno virtual ha progresado con el paso de los años. Antes, los avatares generalmente servían más como marcadores visuales de los usuarios (íconos con movimiento limitado), la figura humana estaba hecha con formas primitivas o en bloques y la personalización era limitada. Con el tiempo los avatares se han convertido en creaciones más complejas representados con formas tridimensionales, con una amplia gama de movimientos y opciones amplias de personalización (Ahn et al., 2011). Aunque la mayor parte de la investigación se ha centrado en gran medida en los avatares con forma humana, éstos pueden adoptar casi cualquier forma, como la representación realista del humano, la identidad de otra persona (un actor vivo o fallecido o una figura histórica), un animal o incluso una criatura mítica (Barfield & Williams, 2018, p. 13).

## 1.1 Planteamiento del problema

El Patrimonio Cultural es lo que cada pueblo tiene en común y le otorga identidad y sentido de pertenencia; está presente en dos ámbitos: el material, como edificaciones, construcciones y objetos, y el inmaterial como lenguas, procesos y técnicas que dan lugar a festividades, ritos y tradiciones. Por ello, es fundamental la labor del Estado de promover políticas de conservación, investigación, preservación y difusión del patrimonio cultural (Conaculta, 2010). México cuenta con una gran riqueza cultural, basta mencionar que ocupa el primer lugar en América Latina y el sexto en el mundo en sitios declarados como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

En el contexto de la crisis del Covid-19, donde las cifras de las visitas a los sitios arqueológicos y museos disminuyeron ante las restricciones sanitarias, los recorridos virtuales se han vuelto cada vez más disponibles y han adquirido popularidad. Las tecnologías de la Información y la Comunicación están presentando nuevas oportunidades para la protección, restauración y difusión del Patrimonio Cultural, por lo que el listado de elementos patrimoniales virtualmente accesibles se amplía constantemente (Cizel & Ajanovic, 2018, pp. 131-132).

Monte Albán es la zona arqueológica más importante del estado de Oaxaca, declarada como Patrimonio Cultural de la Humanidad en 1987; impacta por sus dimensiones y por su ubicación en la cima de un grupo de montañas en el centro de los valles centrales; por lo que se ha convertido en uno de los principales atractivos para visitantes nacionales y extranjeros. Sin embargo, el turismo en este sitio también se vio afectado por la pandemia del coronavirus; de acuerdo con las estadísticas presentadas por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en el año 2018 hubo 443,075 visitas a este sitio, en el 2019 se registró un total de 517,586 visitas, en el 2020 ante el cierre de sitios arqueológicos solo se recibieron 130, 141 visitantes los primeros meses del año y en el 2021 las cifras precisaron un total de 218, 527 visitas.

Para la difusión del sitio, habitualmente se emplean folletos o guías turísticas impresas o multimedia, que como señala Zuñiga et al. (2014, p.35) el problema de estos medios

es que el alcance en ocasiones es limitado o su impacto es insuficiente provocando la falta de información y de interés por parte del público en general. En este sentido, y dada la competitividad entre destinos turísticos, los entornos virtuales han surgido como un canal de promoción y divulgación atractiva e interactiva capaz de aportar un interesante elemento diferenciador (Baeza, 2014, p. 108). En este tipo de entornos, las personas pueden interactuar en tiempo real con personajes virtuales, haciéndolo más atractivo y transportándolos visualmente a otra época.

Actualmente se puede tener acceso a diversos sitios arqueológicos y museos de México que han sido digitalizados por medio de fotografías panorámicas 360°, o a través de recorridos basados en videos, de los cuáles el usuario no tiene el control directo. Sin embargo, muy poco se ha explorado el recurso de los entornos virtuales tridimensionales y la inclusión de personajes en beneficio de una mejor experiencia y asimilación de contenido a los visitantes.

Por otra parte, se reconoce el notable avance en las áreas multimedia que combinan audio, video, animación y eventos en tiempo real, sobre todo en los videojuegos y películas animadas, donde han existido historias sorprendentes que incluyen personajes memorables. El sinfín de historias y personajes que se han creado son extensos pero muy pocos han sido inspirados en las culturas prehispánicas de México.

## **1.2 Justificación**

Las reconstrucciones y recreaciones virtuales en 3D se han convertido en una herramienta valiosa para la promoción y divulgación del patrimonio cultural, que permite acercar el pasado al presente, ofreciendo nuevas experiencias, más atractivas para el público. Para que su eficacia sea plena, resulta necesario incluir personajes virtuales que permitan crear empatía con el contexto del lugar que se reconstruye. Estos personajes forman parte de la recreación virtual y permiten entender la significación cultural del ambiente reconstruido.

Los personajes virtuales son los elementos culturales que consiguen que el usuario se sienta involucrado por el efecto de identidad que se genera con él, el usuario realiza aquello que se define como el deseo de lo que no es posible expresar en la realidad, por lo que las aplicaciones digitales que no utilizan personajes le pueden resultar poco atractivas (Cortés et al., 2012). Éstos personajes pueden convertirse en una especie de prótesis visual y cognitiva, representando una extensión de sí mismo en el mundo virtual, o lo que el visitante le gustaría ser o parecer; también pueden representar las acciones de un usuario, diferentes aspectos de su personalidad o estado social (Barfield & Williams, 2018, p. 13). Aun cuando el enfoque sobre el uso de personajes en las aplicaciones del patrimonio cultural han sido mayormente decorativos, las obras que no utilizan personajes normalmente exploran un conjunto muy limitado de atributos culturales (Bogdanovich et al., 2010, pp. 620-621).

Los personajes digitales se pueden determinar en función de dos aspectos: el entorno y los niveles de interactividad (Pomaquero et al., 2020). Para la definición de los personajes propuestos para el sitio arqueológico de Monte Albán se estudiará el contexto histórico del lugar y de la cultura zapoteca, a fin de obtener información que justifique las características elegidas para los personajes, y que le permitirán al usuario asociarlas con el entorno. Los personajes podrán realizar acciones básicas como la condición inmóvil, caminar, correr y saltar, facilitando así la interacción y brindando una mejor experiencia a los usuarios.

Para el uso de personajes se tiene previsto que los usuarios puedan ser hombres y mujeres adultos en un rango de edad sugerido de 18 a 55 años, sin embargo, pueden ser utilizados por cualquier persona que tenga habilidad para manejar la computadora y acceso a internet.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar personajes virtuales 3D para la difusión y/o promoción del sitio arqueológico de Monte Albán, Oaxaca.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estudiar el contexto histórico y social de Monte Albán e identificar las características morfológicas y cromáticas del cuerpo, vestimenta y accesorios de los personajes más representativos.
- Profundizar en el proceso de creación de personajes y en el manejo de herramientas de modelado y animación 3D.
- Modelar y texturizar dos personajes optimizados con la menor cantidad de polígonos para su procesamiento rápido en tiempo real.
- Realizar la animación de las principales acciones de los personajes dentro del entorno: condición inmóvil, caminar, correr y saltar; simulando el movimiento natural de los mismos.
- Probar y depurar las secuencias de movimiento de los personajes en el motor gráfico de Unity, en respuesta a las teclas de mando pulsadas por el usuario.

## **1.4 Alcances y limitaciones**

Este proyecto de tesis tiene como alcance el desarrollo de dos personajes digitales 3D, diseñados con base en su contexto histórico y social. Se desarrolla un personaje humano y un personaje animal, a fin de mostrar el proceso que conlleva cada uno; considerando los requerimientos necesarios para su uso dentro de un entorno virtual.

Los personajes cuentan con un aspecto físico y una personalidad definida, sin cambio en su trayecto, es decir, el usuario no podrá personalizarlos. Se consideran únicamente las animaciones básicas en los personajes, tales como la condición inmóvil, caminar, correr y saltar, debido a que no se tiene un objetivo o dinámica planteada que requiera de otros movimientos.

El proyecto está limitado al diseño de los personajes, sin considerar el desarrollo completo del entorno virtual del sitio arqueológico de Monte Alban, el cual se contempla como un trabajo a futuro.

## **1.5 Casos análogos**

Con el fin de conocer a grandes rasgos lo que hasta el momento se ha hecho en cuanto al desarrollo de personajes de entornos virtuales, específicamente de los que han sido inspirados en algunas culturas prehispánicas de México, se realizó una búsqueda sin importar la técnica con la que fueron realizados. En su mayoría son entornos virtuales de entretenimiento que incluyen escenarios y personajes históricos, que a continuación se presentan.

### **1.5.1 Pok ta Pok (2011)**

Se trata de un app-juego basado en el milenar juego de pelota prehispánico, creado por el cineasta Roberto Rochín. El nombre *Pok ta Pok* tiene su origen en la lengua maya-yucateca y es en sí un juego de palabras salta-brinca-salta, vocablo onomatopéyico que imita los sonidos que hace la pelota al rebotar (<http://www.poktapokgames.com>). El usuario puede elegir de entre las múltiples canchas o escenarios como Palenque, Tenochtitlan, Chichén Itzá, Teotihuacán, Tajín, Paquimé y Xibalba. En la Figura 1, se observan dos de los escenarios del juego.



**Figura 1. Escenarios del juego *Pok ta Pok*: Chichen-Itzá y Palenque.**  
 Fuente: [www.poktapokgames.com](http://www.poktapokgames.com).

También se puede elegir a un jugador de entre diferentes civilizaciones, tales como civiles, guerreros y dioses. Los personajes retoman rasgos de seres míticos representados en códices y vestigios arqueológicos, por ejemplo, *Zotz* inspirado en el hombre-murciélago maya, o *Tláloc* representación del agua divinizada entre los mexicas. En la Figura 2 se observan los diversos personajes del juego.



**Figura 2. Personajes del juego *Pok ta Pok*.**  
 Fuente: [www.poktapokgames.com](http://www.poktapokgames.com).

Como en los tiempos mayas, el alma de los jugadores de *Pok ta Pok* está guiada por Xico el perro *xoloitzcuintle* (Figura 3), inspirado en la mitología azteca y creado por Cristina Pineda, quién ha sido promotora del arte y la cultura mexicana. Xico ayuda a los jugadores a superar los obstáculos y alcanzar su destino final.



**Figura 3. Xico, perro xoloitzcuintle.**  
Fuente: <http://www.poktapokgames.com>.

*Pok ta Pok* está diseñado para todos los dispositivos móviles, teléfonos inteligentes iPad, iPhone, iPod, tabletas, en las plataformas de iOS, Android y Windows.

### 1.5.2 Aztez (2017)

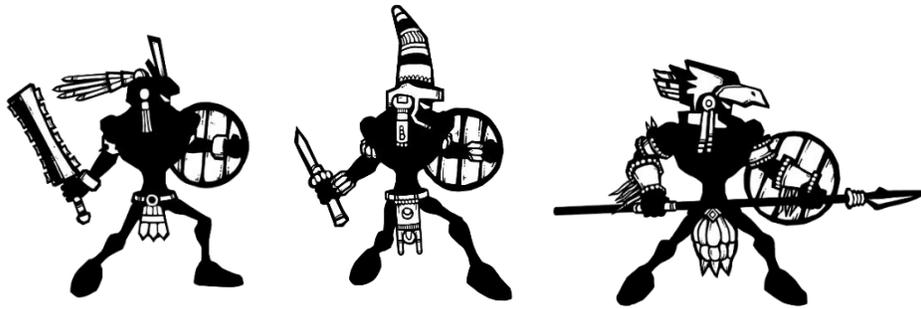
Este juego se sitúa en el año 1428, cuando los mexicas de Tenochtitlan comenzaban la formación del imperio azteca. Fue creado por Ben Ruiz y Matthew Wegner del estudio independiente Team Colorblind en Phoenix Arizona. Es un juego de acción y estrategia en 2D que propone conquistar el imperio azteca. El objetivo es sobrevivir el tiempo suficiente para enfrentar y derrotar a los españoles.

Las batallas se juegan en tiempo real, mediante un sistema de combate que consta de combos múltiples y diferentes armas, la generación aleatoria de contenidos y niveles permite que pueda jugarse varias veces. En el transcurso del juego se presentan diversos entornos de combate basados en ciudades y lugares aztecas, en la Figura 4 se observan dos de los escenarios.



**Figura 4. Escenarios del juego Aztez.**  
Fuente: <http://www.aztez.com>.

Los personajes están basados en los arquetipos históricos como guerreros jaguar, guerreros águila, guerreros nobles o sacerdotes de combate; que incluyen armas como la lanza, la macana, cuchillo y espada de obsidiana (Figura 5). Este videojuego se encuentra disponible para las plataformas PC, Mac y Linux, así como PS4, Xbox One y Wii U.



**Figura 5. Personajes guerreros del juego Aztez.**  
Fuente: [www.aztez.com](http://www.aztez.com).

### 1.5.3 Mulaka (2018)

Es un juego de acción y aventura en 3D basada en la cultura indígena Tarahumara (rarámuri) ubicada en el norte de México, reconocidos por sus grandes habilidades para correr. Fue creado por el estudio mexicano desarrollador de videojuegos Lienzo, originario de Chihuahua. El usuario se adentra en el papel de un chamán llamado Mulaka que debe salvar el mundo; las historias y niveles a los que se enfrenta representan mitos y leyendas de los tarahumaras. Todos los escenarios muestran lugares de la Sierra de Chihuahua, en la Figura 6 se observan dos de los escenarios.



**Figura 6. Escenarios del juego Mulaka.**  
Fuente: <http://www.lienzo.mx/mulaka>.

El apartado gráfico del juego es definido por sus desarrolladores como *low poly*, haciendo contraste de colores agradables a la vista (Figura 7). A lo largo del juego se encuentran personajes diversos como criaturas mágicas con formas extrañas. Está disponible para Nintendo Switch, Xbox One, PS4 y PC.



**Figura 7. Personajes del juego Mulaka.**  
Fuente: <http://www.lienzo.mx/mulaka>.

#### 1.5.4 Recorrido virtual de Tenochtitlan (2021)

Para conmemorar los 500 años de la caída de Tenochtitlán la UNAM creó el programa México 500 y dentro de sus proyectos se encuentra un entorno virtual de la ciudad azteca. El usuario a través de un personaje puede recorrer el sitio y apreciar los diversos edificios y la zona ceremonial. En la Figura 8 se aprecian dos de los escenarios, a la izquierda el *Calmecac* y a la derecha *Tozpalatl* (ojo de agua).



**Figura 8. Escenarios del entorno virtual de Tenochtitlan.**  
Fuente: <http://www.aragon.unam.mx/fes-aragon/#!/tenochtitlan>.

El personaje principal representa un guerrero y se refleja en su vestimenta, durante el recorrido se cruza con otros personajes que recrean el estilo de vida de esa época; en la Figura 9 se observa a la izquierda el personaje protagonista y a la derecha un grupo

de danzantes en la plaza principal. Por el momento, el recorrido se puede realizar a través de la página de la UNAM, está disponible para PC y dispositivos inteligentes.



**Figura 9. Personajes del entorno virtual de Tenochtitlán.**  
Fuente: <http://www.aragon.unam.mx/fes-aragon#!/tenochtitlan>.

### 1.5.5 Conclusiones de la revisión de casos análogos

Según la información obtenida en cada caso, se pudo apreciar que los personajes fueron diseñados de acuerdo con el contexto histórico al que pertenecen, algunos con más detalles que otros. En la mayoría se maneja una dinámica de juego, por lo que los personajes deben cumplir con sus objetivos y realizar animaciones específicas. El estilo visual de los personajes concuerda con el ambiente para los que fueron creados. En el juego *Aztez*, los personajes y escenarios se presentan en blanco y negro, con formas estilizadas y rasgos un poco exagerados (cintura pequeña, pies y torso más grandes). *Mulaka* utiliza personajes con pocos polígonos, presentando una apariencia con facetas, sin tanto nivel de detalle y formas un tanto burdas, algunos personajes poseen formas extrañas que aluden a seres mágicos, los colores son contrastantes y llamativos.

En el juego *Pok ta Pok* y en el recorrido virtual de Tenochtitlan se emplean personajes más realistas y visualmente más elaborados. Se puede notar que la mayor parte de los detalles fueron simulados con texturas para obtener modelos ágiles que facilitan el renderizado. En los ejemplos donde se maneja una narrativa de juego, las animaciones son acorde a sus objetivos, sin embargo, en el recorrido de Tenochtitlán, el personaje principal solo realiza acciones como inmóvil, caminar, correr y saltar que son necesarias para desplazarse por el entorno.

## 1.6 Estructura de la tesis

En el capítulo actual se planteó la problemática y justificación de la tesis, se definieron los objetivos, los cuales se tuvieron presentes durante todo el desarrollo del proyecto, se establecieron los alcances y las limitaciones, y se realizó una revisión de casos análogos. La parte restante del documento se encuentra organizada de la siguiente manera:

**CAPÍTULO 2.** Presenta la información que da sustento a este proyecto y que introduce al lector en los principios básicos para el desarrollo de personajes. Aquí se describen las diferentes etapas del proceso metodológico, desde la definición del concepto, *sketch art*, modelado, mapeado UV, texturizado, *rigging*, animación y exportación al motor gráfico.

**CAPÍTULO 3.** Contiene el análisis del entorno de Monte Albán y de la cultura zapoteca, dejando ver los aspectos más relevantes y enfatizando en el estudio de la indumentaria de los habitantes, con el objetivo de encontrar referentes visuales y conceptuales aplicables en el diseño de los personajes.

**CAPÍTULO 4.** Muestra cómo se llevó a cabo el desarrollo de los personajes, siguiendo el proceso descrito en el Capítulo 2 y después de haber analizado la información recopilada en el Capítulo 3; se describe a detalle el flujo de trabajo realizado en las diferentes etapas para la creación de cada personaje.

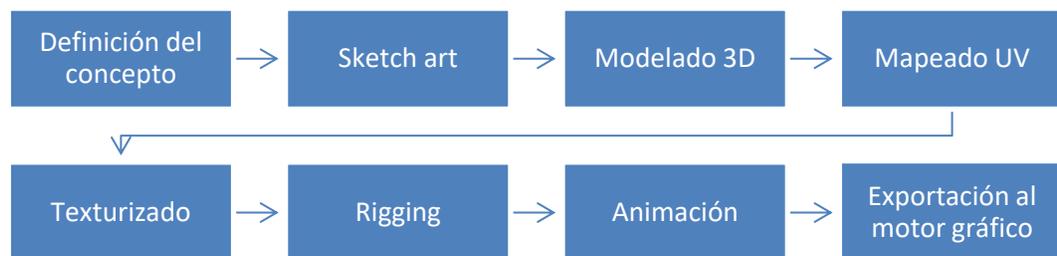
**CAPÍTULO 5.** Incluye la exportación de los personajes y animaciones al motor gráfico de Unity para probar las secuencias de movimiento. Además, de la depuración y resultados finales de este proyecto.

**CAPÍTULO 5.** Presenta las conclusiones de la tesis y los trabajos futuros.

## 2. Fundamentos para la creación de personajes 3D

El desarrollo de personajes 3D conlleva un proceso artístico y técnico que involucra diversas etapas. Se comienza con la generación de la idea o definición del concepto, a partir de ello se realizan los bocetos (*sketch art*) y se procede a realizar el modelado 3D. Cuando el modelo ya está terminado, se texturiza, asignando a cada parte del personaje un material acompañado por mapas de textura. Estos mapas son aplicados sobre las coordenadas UV de la malla del modelo. Posteriormente, se realiza el *rigging*, o la creación del esqueleto que otorgará movimiento al personaje. Una vez que el esqueleto ha sido asignado, pueden moverse los huesos manualmente deformando la piel del personaje. La animación es la última etapa en el desarrollo de los personajes y se basa en marcar fotogramas clave con las posiciones dominantes y el programa realiza una interpolación que permite visualizar movimientos con fluidez. Por último, los modelos y texturas son exportados al motor gráfico.

En la Figura 10 se presenta un esquema de la metodología tradicional y más común en la creación de personajes 3D, implementada por Franson & Thomas (2007) la cual sigue un proceso lineal y se integra de ocho etapas, mismas que se describen en los siguientes apartados.



**Figura 10. Metodología para el desarrollo de personajes 3D.**

Fuente: Franson & Thomas (2007).

## 2.1 Definición del concepto

Como en todo proceso creativo, en el diseño de personajes se comienza por crear la idea, es decir, mediante un concepto general se define cómo será el personaje: En primera instancia se considera el entorno, ¿es una vista en primera o tercera persona?, ¿cuál es su trasfondo?, ¿es humanoide o tiene muchas patas y una cola? ¿qué tipo de armas u objetos maneja? (Franson & Thomas, 2007, p. 2). De acuerdo con los autores, estas consideraciones son importantes para desarrollar con éxito un personaje, ya que proporcionan una vista previa de las técnicas de modelado y animación que se necesitan implementar.

### 2.1.1 Puntos de vista del personaje

Los entornos virtuales de entretenimiento “son vistos en una pantalla plana y la cámara es una metáfora de nuestra visión. La posición virtual y la orientación de esa cámara es el punto de vista o presentación” (Rabin, 2010, p. 104). Existen dos tipos de puntos de vista, los cuáles se describen a continuación:

**Primera persona:** es como si el usuario viera a través de los ojos del personaje, se utiliza cuando se quiere lograr que el usuario sienta que él es realmente el protagonista. En la Figura 11 se observa un ejemplo de la vista en primera persona del videojuego *Counter-Strike: Global Offensive*.



**Figura 11. Vista en primera persona.**  
Fuente: [www.hd-tecnologia.com](http://www.hd-tecnologia.com).

**Tercera persona:** el usuario puede ver a detalle el comportamiento del personaje, el cual se presenta de cuerpo completo. Cuando se utiliza este punto de vista se cuida más la apariencia visual del personaje debido a que el usuario lo ve todo el tiempo. En la Figura 12 se observa un ejemplo de la vista en tercera persona del videojuego *Halo*.



**Figura 12. Vista en tercera persona.**

Fuente: [www.3djuegos.com](http://www.3djuegos.com).

Debido a que en la vista en primera persona no se puede ver el personaje principal, Rabin (2010, p. 105) señala que los usuarios no pueden desarrollar una verdadera empatía, por lo que se olvidan rápidamente del personaje y se centran en el juego. En cambio, en una vista en tercera persona, se vuelve más fácil para ellos identificar, empatizar y entender al personaje porque pueden verlo físicamente.

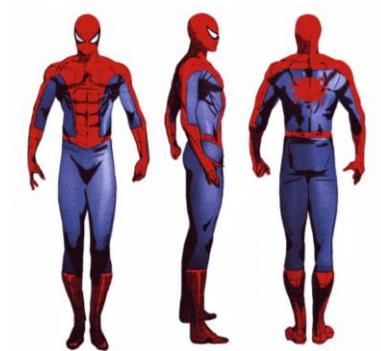
### **2.1.2 Tipos de personajes**

Al concebir un personaje se deben conocer algunos de sus atributos, ya que esto influirá en algunos aspectos como la creación del esqueleto o la cantidad de polígonos, por ejemplo, si se trata de un personaje humano, el proceso de agregar un esqueleto a la malla 3D será algo relativamente fácil dado que la mayoría de los programas cuentan con un esqueleto predeterminado que adquiere esa forma; por el contrario, si se trata de un personaje animal se tendría que modificar el esqueleto humanoide para que encaje en la malla del personaje. De igual manera, si el personaje manipula un arma, esto influirá en la cantidad de polígonos y en las animaciones; en ocasiones es necesario aumentar el número de polígonos en áreas específicas para que el personaje se flexione de manera correcta.

Por otra parte, el trasfondo se refiere a la historia que hay detrás del personaje, el origen que explica de donde viene, quien es y porque se comporta de la manera que lo hace. “Una historia de fondo es importante porque dicta muchos atributos, como la apariencia, movimientos y los sonidos del personaje a lo largo del juego” (Franson & Thomas, 2007, p.7).

## 2.2 Sketch art

En el diseño de personajes es importante realizar bocetos o dibujos que ayuden a visualizar como se verá el personaje; éstos muestran una idea clara de la forma y detalles de su vestimenta, también indican la estructura general y las proporciones. Los dibujos se pueden escanear e importar en el programa de modelado para que sirvan de referencia y faciliten el proceso. La mayoría de las técnicas de modelado utiliza vistas ortogonales: frontal, izquierda o derecha, posterior y superior para crear la malla en tres dimensiones. En la Figura 13 se observa un ejemplo de la hoja modelo del personaje Spiderman en vista frontal, lateral y posterior.



**Figura 13. Hoja modelo del personaje Spiderman.**  
Fuente: <http://www.drawingdatabase.com>.

## 2.3 Modelado 3D

El modelado 3D refiere al proceso de crear objetos tridimensionales virtuales usando tecnología computarizada. “Un modelador profesional 3D se debe preocupar por la forma, la expresividad y estilo, así como por el número de polígonos, la topología y la eficiencia de los modelos” (Rabin, 2010, p. 657).

Antes de comenzar a modelar es recomendable definir la cantidad de polígonos a utilizar, según Rabin (2010, p. 658) la cantidad de polígonos en los personajes oscilan entre los 200 y 15 millones de polígonos. La cantidad estimada dependerá de la plataforma, el motor de desarrollo, el número de personajes en pantalla simultáneamente y el nivel de detalle. Aunque el número de polígonos se incrementan exponencialmente con cada generación de hardware, el modelado *low poly* o de baja resolución hace que los modelos se animen y rendericen de manera rápida.

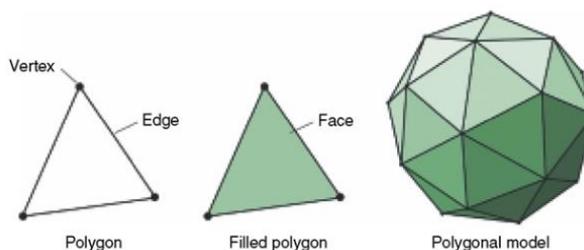
La topología se refiere a cómo están dispuestos los vértices, caras y aristas para formar la estructura del modelo 3D. Una buena topología debe tener los detalles suficientes para dar soporte a la estructura, de una manera uniforme y bien distribuida. Para el modelado de personajes existen diversas técnicas que determinan un trabajo eficiente y productivo.

### 2.3.1 Técnicas de modelado

Generalmente el modelado de personajes se logra utilizando técnicas como el modelado por polígonos, superficies NURBS y escultura digital. Cada una posee características y beneficios particulares.

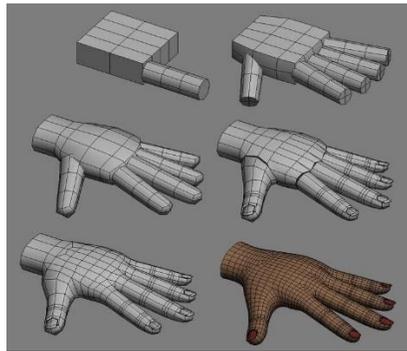
#### 2.3.1.1 Modelado por polígonos

Un polígono es un objeto que se compone de al menos tres vértices y tres aristas formando un triángulo. Cuando muchos polígonos comparten sus vértices y sus aristas, se construye un modelo poligonal (Figura 14).



**Figura 14. Formación de un modelo poligonal.**  
Fuente: De la flor & Mongeon (2010).

La técnica de modelar objetos a partir de formas primitivas convertidas a mallas poligonales recibe el nombre de *box modelling*. Como su nombre lo indica, se comienza con una caja, a la cual se le realizan cortes, extrusiones y se refina hasta que se tenga un modelo terminado. El modelado por polígonos es más preciso, con menos detalles y permite desarrollar rápidamente un modelo con menor número de polígonos, lo que lo diferencia de otras técnicas. En la Figura 15 se observa el proceso de modelado de una mano a partir de una caja poligonal.



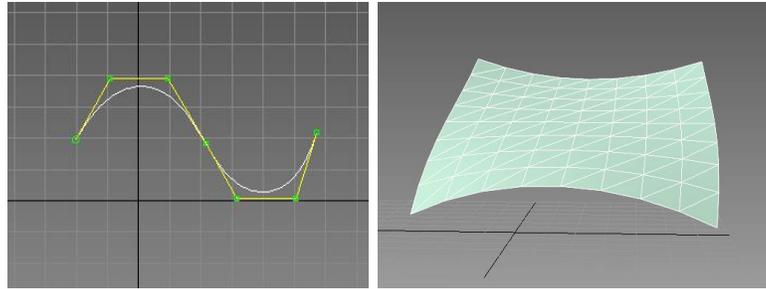
**Figura 15. Modelado de una mano usando *box modelling*.**

Fuente: <https://animation.bowerashton.org>.

En general, las superficies poligonales tienen una amplia gama de aplicaciones y son el tipo de superficie preferido para los videojuegos. Se describen con la menor cantidad de datos, por lo que pueden ser renderizados rápidamente, ofreciendo mayor velocidad y rendimiento al usuario (Autodesk, 2014).

### **2.3.1.2 Superficies NURBS**

NURBS es un acrónimo de *Non Uniform Rational B-splines* y es una forma de modelado que utiliza superficies curvas basadas en relativamente pocos datos y puntos de control. Su uso se ha extendido en la industria del cine y se ha limitado en la industria de los videojuegos (Rabin, 2010, p. 687). El modelado por NURBS se constituye por curvas, lo que hace que las superficies resulten mucho más suavizadas. Existen dos componentes: las curvas NURBS definidas por vértices de control externos y las superficies NURBS definidas por puntos de control sobre la superficie, mismas que se aprecian en la Figura 16.

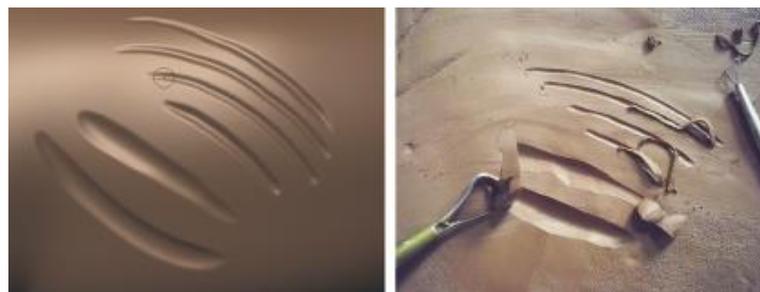


**Figura 16. Curva NURBS y superficie NURBS.**

Las curvas y superficies NURBS tienen muchas aplicaciones y son el tipo de superficie preferido por diseñadores industriales y automotrices, donde requieren formas suaves con datos mínimos para definir una forma particular (Autodesk, 2014).

### **2.3.1.3 Escultura digital**

Otro método para el modelado de personajes es la escultura digital 3D. Programas como Pixologic ZBrush y Autodesk MudBox permiten esculpir modelos de alta resolución sin importar su topología. Este es un tipo de modelado relativamente nuevo, donde se trabaja con un material virtual que se asemeja a la arcilla y sobre el cual con diferentes herramientas o pinceles se puede dar forma e ir refinando los modelos. En la Figura 17 se observa una comparación de esculpido con herramientas de Autodesk MudBox y con herramientas tradicionales.



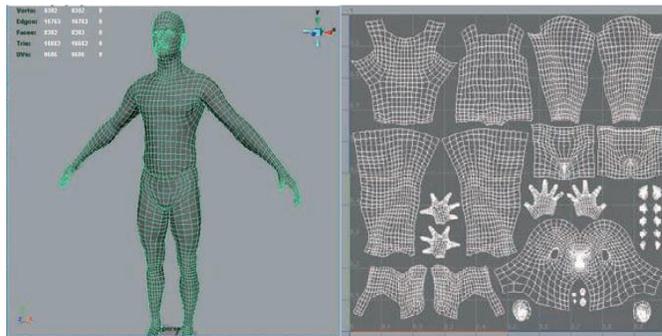
**Figura 17. Esculpido con herramientas en Mudbox y con herramientas tradicionales.**

Fuente: De la flor & Mongeon (2010).

La velocidad para la creación de modelos altamente detallados o de alta poligonización hace de la escultura digital 3d una opción ampliamente utilizada para el modelado de personajes dentro de la industria del cine y los videojuegos.

## 2.4 Mapeado UV

Así como en un modelo poligonal cada vértice tiene coordenadas X, Y, Z que definen su ubicación en el espacio, también tiene dos coordenadas más que determinan su posición en el plano bidimensional, llamadas coordenadas de textura o UVs. U equivale a X mientras que V equivale a Y, estas coordenadas facilitan la colocación de mapas de textura sobre la superficie 3D (Franson & Thomas, 2007, p. 9). El proceso de mapeado UV implica realizar cortes y el despliegue de una representación del modelo 3D en un plano 2D, los cortes son a criterio del texturizador considerando sean en áreas ocultas. En la Figura 18 se presenta un modelo 3D y su correspondiente disposición de UVs.



**Figura 18. Modelo 3D y disposición de UVs.**  
Fuente: Spencer (2008).

## 2.5 Texturizado

La etapa de texturizado es igual de importante que la de modelado, permite añadir color al modelo, así como también simular diferentes materiales y dar mayor detalle a determinadas formas. Las texturas son imágenes digitales en dos dimensiones que representan una superficie, éstas se pueden realizar a mano u obtenidas mediante fotografías, también se pueden pintar directamente sobre el modelo 3D. Suelen tener dimensiones cuadradas, dependiendo de la plataforma en que serán procesadas pueden ser de 512, 1024, 2048 o 4096 pixeles. Con el aumento de la calidad en los programas de aplicaciones interactivas, ahora los personajes y otros objetos tienen múltiples atributos a partir de un mapa de textura.

### 2.5.1 Mapas de textura

Para preservar los detalles de esculpido y al mismo tiempo tener un modelo que se pueda manipular o animar de manera eficiente, es recomendable extraer los mapas de textura que representan los detalles de alta resolución y asignarlos a un modelo de baja resolución en el programa 3D destino.

La escultura digital es por mucho la mejor técnica para crear mapas normales de alta calidad. Un mapa normal es una imagen que se proyecta a un modelo 3D y que da la ilusión de que hay muchos más detalles de los que realmente existen (Rabin, 2010, p. 671). Existen diferentes mapas de textura, a continuación, se describen los que comúnmente se emplean en el texturizado de personajes:

- **Mapa de color:** también llamado mapa difuso, es el mapa de textura más básico que incluye los colores del modelo, sin ningún efecto especial sobre la superficie.
- **Mapa de relieve:** es un mapa en escala de grises que el programa de modelado utiliza para proporcionar relieve artificial sobre la textura existente. El programa interpreta las variaciones de tonos de gris, siendo el blanco el más elevado y negro el más bajo.
- **Mapa normal:** es similar a un mapa de relieve en el sentido de que simula profundidad o relieve en la superficie; la diferencia es que los mapas normales utilizan datos de color RGB, por lo que pueden simular la profundidad en cualquier dirección, produciendo mejores simulaciones de profundidad (De la flor & Mongeon 2010, p. 146).
- **Mapa de desplazamiento:** a diferencia de los mapas normales y de relieve, los mapas de desplazamiento si cambian la geometría del modelo. La cantidad de desplazamiento es modulada mediante datos en escala de grises, donde el

color negro y gris oscuro representan áreas bajas y el blanco y gris claro representan áreas elevadas (De la flor & Mongeon, 2010, p. 146)

- **Mapa especular:** es el mapa que crea el brillo en el modelo y se trabaja en escala de grises, donde el color blanco representa el máximo brillo y el color negro la ausencia de éste.

En la Figura 19 se presenta un render con el uso de los distintos mapas de textura, dejando ver la diferencia entre ellos y el resultado cuando se combinan.



**Figura 19. Uso de los diferentes mapas de textura.**  
Fuente: Imágenes tomadas de Ingrassia (2009).

## 2.6 Rigging

El *rigging* es considerada la etapa final en la creación de personajes, donde se coloca un esqueleto digital que permite articular y animar la malla. Éste es muy parecido a un esqueleto real, en el sentido de que contiene objetos con forma de huesos conectados por articulaciones, que cuando se mueven hacen que la malla circundante se mueva con ellos. Programas como 3dsMax cuentan con objetos llamados *biped* (Figura 20) que son usados para implementar un esqueleto humanoide, el cual se puede personalizar para adaptarse a cualquier tamaño y forma del personaje, ya sea humanoide o animal.



**Figura 20. Biped en 3dsMax.**

Franson & Thomas (2007, p. 15) mencionan que por defecto el esqueleto imita la forma en que el cuerpo humano puede moverse en tiempo real mediante el uso preprogramado de cinemática inversa. Un esqueleto *biped* (conocido comúnmente como *rig*) se mueve naturalmente usando cinemática inversa, la cual consiste en manejar una cadena de huesos en sentido inverso a la jerarquía; por ejemplo, si se mueve la mano en el *rig*, ésta hará influencia sobre los huesos del brazo y se moverán de forma natural. El *rigging* del personaje comprende la colocación del esqueleto dentro del modelo, y una vez que se ha vinculado a la malla, se realiza el proceso de *skinning* donde se especifica cómo la malla va a ser deformada por la estructura del esqueleto.

## 2.7 Animación

En esta etapa del desarrollo de personajes el modelo ya está completo, tiene una malla, texturas y un esqueleto asignado, el siguiente paso será realizar las secuencias de animación que posteriormente serán importadas en el motor gráfico. Para acciones repetidas en el personaje como caminar y correr se emplea una animación cíclica, donde la animación se ejecuta en un bucle continuo, con la acción volviendo a su punto de partida; es decir, el primer y último fotograma presentan la misma pose.

Para personajes que se animan en tiempo real la animación se compone de ciclos cortos y movimientos que se encadenan para hacer una animación continua, éstos necesitan ser de esta manera con el fin de preservar la interactividad, ya que el usuario no desearía esperar mucho tiempo para que la acción se complete. La elección de las acciones dependerá de los objetivos planteados, en ocasiones será necesario realizar movimientos personalizados.

### 2.7.1 Técnicas de animación

En la animación de personajes 3D, comúnmente se utilizan dos técnicas:

**Fotogramas clave:** es un proceso en el que se definen las posiciones importantes o claves de un movimiento básico en el personaje en diferentes puntos del tiempo y el programa determina las posiciones intermedias, realizando interpolaciones entre las

propiedades de posición, rotación, etc. Otro término empleado en este tipo de animación es el llamado *pose a pose*. Es una forma muy eficiente de producir animación y es el método mayormente utilizado en la animación comercial (Webster, 2005).

**Captura de movimiento:** técnica popular en la industria del cine y videojuegos en la que se utilizan actores reales equipados con trajes llenos de sensores, y donde cada uno de sus movimientos son grabados para después animar y retocar en un programa 3D.

Mediante esta técnica se obtienen movimientos y expresiones corporales altamente realistas, sin embargo, se requiere de software y hardware específico para obtener y procesar los datos, por lo que su costo es elevado. Aunque, existe actualmente la base de datos de captura de movimiento de Carnegie Mellon (<http://mocap.cs.cmu.edu/>), la cual contiene movimientos libres que pueden ser descargados y utilizados con un software específico.

### 3. Análisis del entorno

**E**n el presente capítulo se investiga el contexto histórico de Monte Albán, que fue la capital más importante de la región de los valles centrales de Oaxaca durante el periodo clásico, cuando fue habitada por los zapotecas. Se presentan los aspectos relevantes de esta cultura, su organización económica, política y social, religión y cosmovisión, milicia y conquista, y se hace énfasis en la indumentaria de los habitantes. También se investiga sobre el calzado, tocados, adornos y armas de guerra, a fin de obtener información útil para poder profundizar en el diseño de los personajes.

#### 3.1 Monte Albán

Ciudad prehispánica, antigua capital de los zapotecas; erigida en la cima de tres cerros. No solo es la fundación más antigua (500 a.C.) sino que trascendió por al menos 13 siglos (Robles, 2011, p.34). Su construcción duró más de 1000 años, sin embargo, hasta la fecha solo se ha explorado un pequeño porcentaje (Oliveros, 2002, p. 81). En la Figura 21 se presenta una panorámica del sitio arqueológico. Hasta el momento se desconoce el nombre original de la ciudad, sin embargo, algunas propuestas son:

*Danibáan*, palabra zapoteca que significa “monte sagrado”, se refiere al sitio. Los mixtecos la llamaban *Sabandevni*, “al pie del cielo”. Los mexicas la conocían con el vocablo náhuatl *Ocelotépec*, que significa “Cerro del Jaguar o del Tigre”. Sin embargo, el nombre de Monte Albán se refiere más bien al español que llegó a ser propietario de esas tierras, de apellido Montalván. (Oliveros 2002, p. 81)

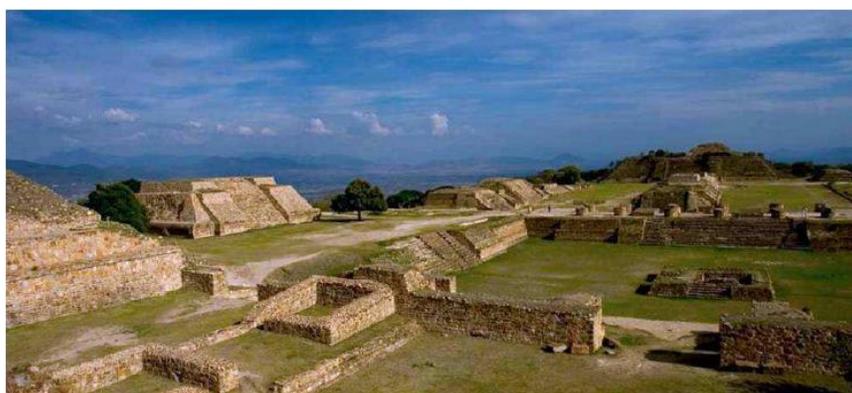


Figura 21. Sitio arqueológico de Monte Albán.

### 3.1.1 Cronología de Monte Albán

Cronológicamente la historia de Monte Albán se divide en cinco etapas, en las que Oliveros (2002, p. 81) describe los acontecimientos más trascendentes, mismos que se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Cronología de Monte Albán.**

AÑO	PERIODO
500-100 a.C.	<p><b>Preclásico tardío (fase Monte Albán-I: MA-I).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Acondicionamiento del cerro y construcción de terrazas, la Plaza Central y los edificios alrededor de ésta, también se construyen las primeras tumbas y redes de drenaje.</li> <li>- Utilización de los glifos como elementos de escritura.</li> <li>- Elaboración de relieves de la llamada Galería de los Danzantes.</li> </ul>
100 a.C.-200 d.C.	<p><b>Clásico temprano (MA-II).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de los edificios y conjuntos mayores, las tumbas techadas con lápidas monolíticas y el Observatorio, el cual fue recubierto con lápidas alusivas a los pueblos conquistados.</li> </ul>
200-500 d.C.	<p><b>Clásico medio (MA-III A).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auge económico, intercambio comercial interno y externo con ciudades importantes, como Teotihuacan. Se adoptan estilos arquitectónicos de esta urbe.</li> <li>- Notorio progreso de la escritura.</li> </ul>
500-800 d.C.	<p><b>Clásico tardío (MA-III B-IV).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crecimiento máximo de la ciudad y del número de sus habitantes. Incremento de zonas residenciales y tumbas decoradas con pintura mural.</li> </ul>
800-950 d.C.	<p><b>Posclásico temprano (MA-IV).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decadencia del grupo hegemónico local. Abandono de la ciudad.</li> </ul>
950-1521 d.C.	<p><b>Posclásico tardío (MA-V).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocupación temporal por parte de grupos autónomos de diferentes etnias.</li> <li>- Arribo de los mexicas.</li> <li>- Pese a su abandono, la ciudad permanece como lugar sagrado.</li> <li>- Los mixtecos acuden a las ruinas de la capital zapoteca a enterrar a sus gobernantes.</li> </ul>

Fuente: Datos obtenidos de Oliveros (2002).

Monte Albán III corresponde a la época de mayor esplendor de la ciudad. En esta etapa “la cultura es ya propiamente zapoteca y corresponde a su máximo poderío económico y político”. En esta época se realizó la mayoría de las construcciones que conforman la

ciudad, siendo características las tumbas subterráneas con fachadas de piedra y pinturas murales interiores (Ávila, 2002, p. 92).

Monte Albán IV marca un “periodo de decadencia, durante el cual los mixtecos llegan a Oaxaca. La ciudad es abandonada por los zapotecas y ocupada por los recién llegados, es así como empieza a convertirse en un gran cementerio mixteco” (Ávila, 2002, p. 93). Ayala (2005) señala que cuando Monte Albán se convirtió en una ciudad fantasma, las clases dirigentes emigraron en dos grupos: los guerreros y la burocracia civil se fueron a Zaachila, mientras que los sacerdotes se trasladaron a Mitla donde realizaron nuevas construcciones.

Monte Albán V corresponde al “periodo de ocupación mixteca. Monte Albán se convirtió de lleno en un majestuoso cementerio real. Durante esta etapa se desarrolló un nuevo tipo de arquitectura, cuyo mejor ejemplo está en los Palacios de Mitla” (Ávila, 2002, p. 93). En el año 1450 d.C. el impulso expansionista mixteco aminoró por la aparición de otra fuerza aún más poderosa, los mexicas, quienes, regidos por Moctezuma, conquistaban varias poblaciones ocupadas tanto por zapotecas como mixtecas.

## **3.2 La cultura zapoteca**

Los zapotecos, llamados en su propio idioma *ben zaa*, “la gente de las nubes”, constituyen el grupo más antiguo de la región Oaxaqueña y habitaron principalmente los Valles Centrales y las sierras circundantes desde por lo menos 1400 a.C. (Vela, Cultura zapoteca, 2010, p. 32). Es considerado uno de los pueblos más desconocidos de la historia mesoamericana. En los siguientes apartados se describen los más aspectos relevantes de esta cultura.

### **3.2.1 Organización económica**

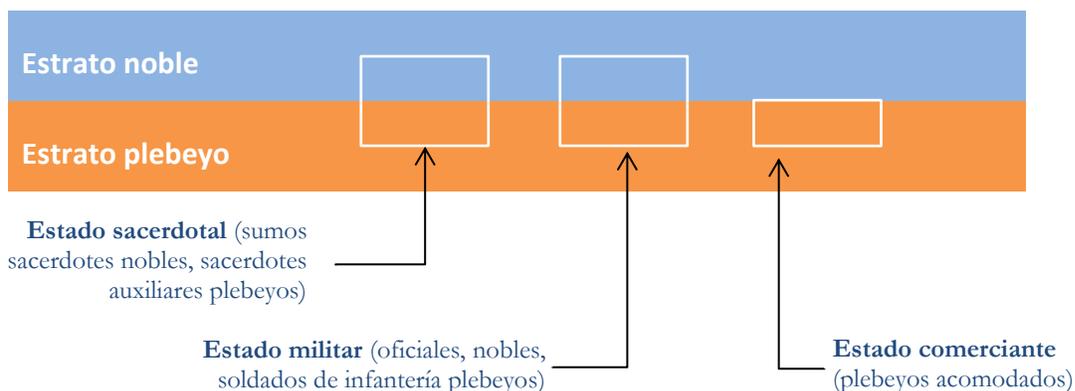
Desde el primer momento en que se constituyen como colectivo, los zapotecas mantienen un sistema de vida sedentario, debido en parte por las condiciones climáticas

y la fertilidad de las tierras en las que se asentaron. Su principal actividad fue la agricultura, y para subsistir practicaban la caza, la pesca y la recolección. El comercio fue otra actividad base de la economía zapoteca, según Winter (1997) se estableció un mercado, quizás en la plaza principal de Monte Albán donde se ofrecían diversos productos (cerámica, sal, pedernal, cal, madera, petates, telas y muchos más). Sin embargo, Fernandez (2005) señala que el artículo que los enriqueció y los hizo famosos fue la grana cochinilla, que sirvió como tinte a los pueblos prehispánicos.

### 3.2.2 Organización política y social

La sociedad zapoteca estuvo dominada por un gobierno teocrático durante el periodo Clásico. El gobierno estaba a cargo de un grupo de reyes sacerdotes que, por ser intermediarios entre los hombres y los dioses, tenían el poder absoluto. Los gobernantes de Monte Albán dominaron las aldeas vecinas y las obligaron a pagar tributo a cambio de su protección (Fernandez, 2005).

La organización social zapoteca de acuerdo con Marcus & Flannery (2001, p. 15) estaba dividida en dos estratos: el estrato superior o nobleza hereditaria y el estrato de los plebeyos, siervos y esclavos. La Figura 22 muestra los dos estratos sociales cortados transversalmente por “estados” o grupos de función especial como el clero y el ejército.



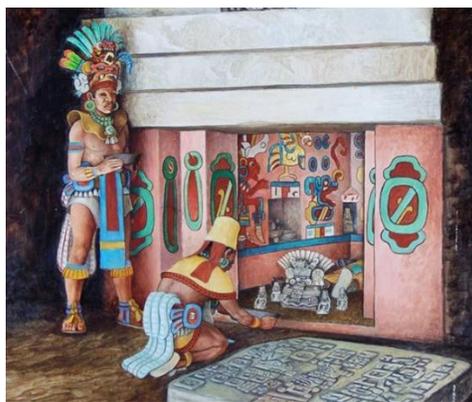
**Figura 22. Estratos sociales de los zapotecas.**  
Fuente: Marcus & Flannery (2001).

Dentro de las ocupaciones que se atribuyen a los plebeyos se encuentran: jornaleros, sirvientes, tejedores, danzantes, músicos, escultores, pintores, intérpretes, adivinos, curanderos, entre otros. Muchos plebeyos eran comerciantes acomodados o maestros artesanos que vivían casi tan bien como los nobles; sin embargo, no podían ser elegibles para cargos importantes o matrimonios nobles (Marcus & Flannery, 2001).

### 3.2.3 Religión y cosmovisión

Los zapotecas fueron politeístas, es decir adoraban a muchos dioses, sin embargo, su deidad principal era *Cocijo*, dios del rayo y la lluvia (de gran importancia para un pueblo de agricultores), *Pitao-Cozobi*, dios del maíz, ocupaba un lugar preponderante y adoraban también a *Xipe-Tótec*, señor de los desollados.

Al igual que en las diferentes culturas mesoamericanas, la muerte era un aspecto fundamental en la cosmovisión zapoteca, por lo que las tumbas son uno de sus rasgos más distintivos, en ellas se refleja su idea de religión y la fuerte diferencia que existía entre sus clases sociales, es decir, mientras más importante fuera el personaje enterrado, más elaborado era el sepulcro y más rica la ofrenda depositada (Vela, 2010a, p. 37). En la Figura 23 se observa la representación de una ceremonia funeraria en la Tumba 104 de Monte Albán, uno de los más famosos entierros reales zapotecas.



**Figura 23. Ceremonia funeraria en la Tumba 104.**  
Fuente: Vela ( 2010a).

Otro dato interesante en cuanto a las creencias de los zapotecos es que ellos creían que ciertos animales eran sagrados. Fernandez (2005) menciona que había algunos a los que otorgaban tributos especiales: al murciélago lo relacionaban con la fertilidad, al tlacuache con la regeneración, mientras que el jaguar tenía una connotación mágica. Para los zapotecas el jaguar era un dios muy importante, vinculado con los montes, la tierra y la lluvia, era el símbolo del poder y del dominio (Ávila, 2002, p. 98).

La figura del jaguar aparece representada con mucha frecuencia en Monte Albán, comúnmente con atavíos, como se observa en la Figura 24, lo que ha permitido pensar que estos animales estaban en cercana convivencia con los humanos. En general, su representación fue muy común en el suroeste de Mesoamérica, felinos en poses antropomorfas o zoomorfas y figuras humanas con atributos de jaguar (Urcid, 2009).



**Figura 24. Escultura del jaguar, Monte Albán, periodo Clásico.**  
Fuente: Urcid (2009).

### **3.2.4 Milicia y conquista**

Monte Albán se consolidó como la ciudad más importante de la región, para ello acudió al recurso de la guerra, de conquista y sometimiento, prueba de ello es el abundante número de los llamados “Danzantes” (más de 200) que corresponden a los gobernantes derrotados de los sitios vecinos, quienes fueron humillados y sacrificados públicamente (Arellano, 2013, p. 23). Los motivos más importantes por los que pelear eran obtener brazos para el trabajo en la gran ciudad y para sembrar los campos de los señores principales, así como para la obtención del tributo que asegurara la vida de nobles; otras razones eran por el control de las rutas de los mercaderes y la obtención de tierras (Robles, 2000).

Los zapotecas contaban con ejércitos de hasta 1000 individuos, divididos en siete grupos dirigidos por la alta nobleza. La guerra se concertaba y se apegaba a un cierto protocolo: primero se elegía el lugar y el lapso de la batalla, luego ocurría una serie de insultos entre los enemigos, después se iniciaba la pelea, encabezada por honderos y lanzadores de dardos, y por último irrumpía la lucha cuerpo a cuerpo con hachas y mazos con navajas (Arellano, 2013, p. 27). Antes del combate los zapotecas hacían augurios, iban a la guerra cantando, tocando tambores de madera y portando un ídolo, el primer prisionero era sacrificado al ídolo y los demás eran tomados como esclavos, para ser vendidos o sacrificados en días festivos (Marcus & Flannery, 2001, p. 22).

La guerra era exclusiva casi siempre de la clase dirigente, los campesinos participaban en ella obligados por su condición de servidumbre y sólo se reclutaba a adultos fuertes. Para ir a la guerra, un guerrero zapoteca lucía su ropaje de gala: máscara que, según su rango, podía ser de jaguar, de muerte o simple pintura facial con los colores de la noche y de la muerte, y las anteojeras de *Cocijo*; taparrabos con faldellín, capa y sandalias de piel. Armaduras acolchadas de algodón para su defensa y cascabeles en los talones para hacer sentir su presencia (Robles, 2000). Para conocer más acerca de la indumentaria, su uso y periodo, se presenta en el siguiente apartado una descripción de las diferentes prendas utilizadas por mujeres y hombres.

### **3.3 Indumentaria**

La organización social de cada cultura fue un factor que determinó en gran medida la indumentaria. Los estratos más bajos de la sociedad sólo podían vestir ropa de algodón burdo o de fibras toscas y duras, por el contrario, la clase alta vestía atuendos elaborados con un algodón más suave (Rieff, 2005), es decir, no siempre era el material sino el tratamiento de éste el que denotaba el estrato social de su portador. En general, las culturas mesoamericanas utilizaban pocas prendas para cubrirse, con ciertos elementos de diseño en común, pero con características propias de cada etnia y región. Oudijk (2008, p. 59) señala que gran parte de la información pictográfica sobre los zapotecos prehispánicos la proporcionan los códices mixtecos.

### 3.3.1 Vestimenta femenina

El atuendo femenino fue mucho más limitado que el masculino, según Rieff (2005) esto fue determinado por la diferencia en los roles sociales que regían ambos géneros. Las prendas básicas en las mujeres eran el *cuéitl* o enredo, el huipil o el *quechquémitl*, las cuales se describen a continuación.

#### 3.3.1.1 Cuéitl o Enredo

El *cuéitl* o enredo consistía en un paño rectangular que se enrollaba en la cintura y se sujetaba con una cinta. Esta especie de falda era usada por las mujeres de todo rango social, la distinción de estrato dependía de la decoración o carencia de ella (Fundación Cultural Armella Spitalier, 2011, p. 9). Su uso ha sido registrado desde el preclásico medio hasta la llegada de los españoles. En la Figura 25 se aprecia a *Lazoltéotl* diosa del amor, del códice *Fejévary-Mayer*, quien porta un enredo decorado.



**Figura 25. Representación del enredo.**  
Fuente: Rieff (2005).

#### 3.3.1.2 huipil

El *nipilli* o huipil era una prenda de vestir tradicional de Mesoamérica que consistía en una túnica suelta, sin mangas, compuesta de dos o más lienzos añadidos, que caían a una altura que podía variar entre la rodilla y los tobillos (Rieff, 2005). Su uso se extendió desde principios del Clásico hasta la llegada de los españoles.

Según Stresser-Péan (2012, p. 66) los huipiles de los códices mixtecos eran cortos y llegaban a medio cuerpo, semejante al huipil de la lámina 61r del códice Vaticano, que representa la vestimenta de las mujeres zapotecas o mixtecas, el cual se observa en la Figura 26. Éstos podían ir adornados con una franja decorativa (horizontal o vertical) o ir adornados en su totalidad.



**Figura 26. Representación del huipil.**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

### 3.3.1.3. Quechquémitl

El *quechquémitl* era una prenda destinada a tapar la parte superior del cuerpo de las mujeres. Estaba conformado por dos rectángulos cosidos de tal manera que los picos caían al frente y por atrás, formando triángulos (Stresser-Péan, 2012, p. 76). Los *quechquémitls* de uso cotidiano eran sencillamente de tela roja, azul o verde, con una franja en la orilla, similar al de la lámina 61r del códice Vaticano (Figura 27). Por su parte, las diosas iban ataviadas con *quechquémitls* adornados con mayor o menor riqueza.



**Figura 27. Representación del quechquémitl.**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

### 3.3.2 Vestimenta masculina

Las prendas esenciales en la vestimenta masculina eran el taparrabos, el paño de cadera y la tilma, sin embargo, presentaban variantes de acuerdo con el rol que desempeñaban, por lo que había prendas que lucían específicamente para la guerra o acto ceremonial.

#### 3.3.2.1 Taparrabos o Maxtlatl

El *maxtlatl* o taparrabos como lo describe Stresser-Péan (2012, pp. 36-38) era un lienzo de tela rectangular que se enrollaba en la cintura y pasaba por entre las piernas, anudado de tal manera que los dos extremos colgaban al frente, aunque en ocasiones uno de los extremos colgaba al frente y otro por detrás; las puntas se adornaban en mayor o menor grado en función del rango del portador. En la figura 28 se observa una escultura de un noble zapoteca que viste un taparrabos.



**Figura 28. Representación del taparrabos.**  
Fuente: Marcus & Flannery, (2001).

Pohl & McBride (1991, p.46) señalan que el taparrabos mixteco fue usado más largo que el de otras culturas, con ambos extremos atrás y al frente extendidos hasta la pantorrilla.

### 3.3.2.2 Paño de cadera o faldellín

Prenda complementaria que consistía en un lienzo comúnmente doblado en triángulos y atado en la cintura por encima del taparrabos, cuyos dos cabos colgantes seguían siendo visibles la mayoría de las veces; era usado por los nobles, aunque no era obligatorio llevarla (Stresser-Péan, 2012, p. 44). En la Figura 29 se observa al personaje 8 Venado Garra de Jaguar del códice *Nutall* que viste un paño de cadera sobre el taparrabos.

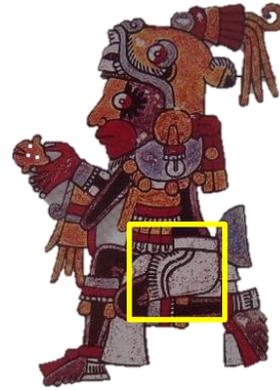


Figura 29. Representación del paño de cadera.  
Fuente: Vela (2009).

### 3.3.2.3 Tilma o tilmatli

Era una especie de capa formada por una pieza de tela cuadrada o rectangular que se ataba alrededor del cuello y colgaba entre la cintura y los tobillos (Rieff, 2005). Esta prenda desempeñaba una función social, “la tilma del pobre tenía ante todo fines utilitarios, mientras que los mantos ricamente adornados indicaban el rango social de su dueño; conferían a quien los portaba cierta dignidad y cierto poder” (Stresser-Péan, 2012, p. 51). En la Figura 30 se observa a un personaje zapoteco del códice Vaticano que viste una tilma.



Figura 30. Representación de la tilma.  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

## 3.3.3 Vestimenta de guerra

La vestimenta de los guerreros variaba según su rango; a continuación, se describen las prendas más significativas.

### 3.3.3.1 Ichcahuipilli

Era una especie de coraza acolchada de tela de algodón, que utilizaban los guerreros para protegerse de las flechas enemigas, tenía la forma de una túnica sin mangas que por lo regular llegaba hasta medio muslo. Aparentemente, esta prenda fue utilizada

desde el siglo XIV (Stresser-Péan, 2012, p.96). Los guerreros mixtecos y zapotecos, según Pohl & Mcbride (1991, p. 47) usaban el *ichcahuipilli* con acolchado vertical. En la Figura 31 se observa la representación de esta prenda.



**Figura 31. Representación del *Ichcahuipilli*.**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

### 3.3.3.2 Trajes enteros (*Tlahuiztli*)

El *Tlahuiztli* era un traje de manta recubierto con plumas y con motivos en colores vivos, incluía un casco que representaba la cabeza de un animal feroz adornado con un penacho. Su uso estaba reservado a quienes habían destacado en el combate, el derecho de llevarlo los convertía en jefes del ejército; quien lo portaba asumía de inmediato la apariencia del animal (Stresser-Péan, 2012, p.117). En la Figura 32 se observan los trajes correspondientes a los guerreros jaguar, monstruo y coyote.



**Figura 32. Representación del *Tlahuiztli*.**  
Fuente: Mohar (2013).

### 3.3.3.3 *Ehuatl*

Túnica de algodón sin mangas destinada a cubrir la coraza del guerrero noble o del guerrero que había adquirido alto rango gracias a sus hazañas de combate. Era muy adornado con plumas coloridas. La piel del sacrificado en honor a *Xipe Totec* y con la

que se vestía el sacerdote se denominaba *tlacaehuatl* “piel humana” o “ropaje de piel humana”, que no cumplía una función protectora, su único objetivo era transmitir un mensaje gráfico.

### 3.3.4 Vestimenta ceremonial

Durante las festividades religiosas los hombres de la alta jerarquía elegían cuidadosamente su vestimenta, algunos portaban la tilma o el *Xicolli*, también lucían grandes tocados. En general, su vestimenta evocaba y personificaba a los dioses.

#### 3.3.4.1 Xicolli

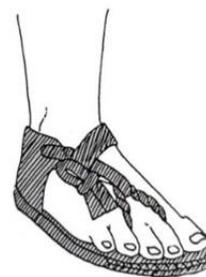
Era una prenda corta, sin mangas, con flecos en la parte inferior y abierto por delante, usado por la aristocracia mixteca y los sacerdotes (Stresser-Péan, 2012, p.104). Sin embargo, como lo señala el autor, en el códice *Colombino* se muestra un *xicolli* largo, hasta las rodillas del personaje (Figura 33), por lo general el *xicolli* mixteco era muy adornado y de color.



**Figura 33. Representación del Xicolli mixteco.**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

### 3.3.5 El calzado

Los antiguos mexicanos andaban normalmente descalzos, sin embargo, los hombres de la clase dirigente usaban sandalias (*cactli*) de ixtle, sustituidos paulatinamente por sandalias de cuero, mientras que las mujeres iban casi siempre descalzas. Las sandalias estaban hechas de una suela y de un carcañal que protegía el talón; el pie se sujetaba con dos bandas, una de las cuales pasaba entre el dedo gordo y el segundo dedo del pie, y la otra pasaba entre el tercer y el cuarto dedos (Stresser-Péan, 2012, p.164), como se observa en la Figura 34.

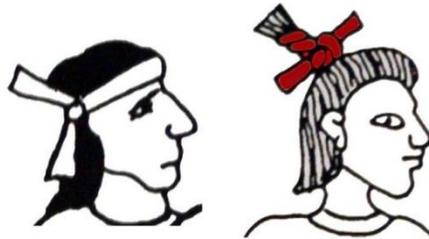


**Figura 34. Sandalias (cactli).**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

### 3.3.6 El Tocado

El tocado se refiere tanto al peinado como a los adornos que cubrían la cabeza. “Los antiguos mexicanos creían que su cuerpo albergaba tres almas diferentes: el *yolotl*, el *ibiyotl* y el *tonalli*. El sitio de este último se hallaba bajo la bóveda del cráneo, por lo que para proteger el *tonal* hombres y mujeres llevaban el cabello largo, ya que perder el *tonal* equivalía a perder la vida” (Stresser-Péan, 2012, p.148).

El tocado masculino más antiguo según Stresser-Péan (2012, p. 132) consistía en una cinta frontal para sujetar el cabello, y era usado por la mayoría de los guerreros. Posteriormente la cabellera y la manera de peinarla llegaron a constituir una insignia o un grado, los guerreros acomodaban su cabellera en “columna” atado en su base con una correa de cuero rojo, el resto del cabello colgaba sobre la nuca. En la Figura 35 se observan estos dos tipos de tocados.



**Figura 35. Tocado con cinta frontal y en columna.**  
Fuente: Stresser-Péan (2012).

Uno de los rasgos distintivos de los miembros de las órdenes militares era el uso de elementos específicos para cubrir la cabeza, estos iban desde simples yelmos hasta elaborados tocados que utilizaban en los ritos previos, durante el enfrentamiento y en la celebración de victorias. Los tocados estaban confeccionados con plumas de distintas aves, las más predominantes eran las de quetzal, el ave más codiciada y venerada en Mesoamérica, insignia de gobernantes y símbolo de prosperidad y de nobleza. En la Figura 36 se observa la Urna del Señor 8 Temblor quien porta un vistoso tocado.



**Figura 36. Urna del señor 8 Temblor, Atzompa.**  
Fuente: Robles (2014).

### 3.3.7 Adornos

El adorno corporal en el México prehispánico señala Vela (2010b) poseía dos sentidos básicos: señalar una identidad social y sumar una cualidad determinada al cuerpo en ciertas ocasiones. Incluía variantes que podían ser temporales como la pintura corporal y la joyería sobrepuesta; o permanentes como la escarificación, el tatuaje, la joyería que implicaba perforar la piel (orejeras, bezotes o narigueras), la deformación del cráneo y el limado y la incrustación dentarios.

#### 3.3.7.1 Orejeras

El portar orejeras se remonta al Preclásico Temprano, para ello era necesario perforar y dilatar el lóbulo de la oreja. Las orejeras se fabricaban en diversas formas y materiales, con el objetivo de “señalar el estatus de su portador, así como su pertenencia a un grupo social determinado” (Vela, 2015, p. 30). Las más apreciadas y reservadas para la elite eran las de piedra verde o jade; y en el periodo posclásico, de oro; a veces iban acompañadas por un pendiente de oro, plata o plumas. En la Figura 37 se observan algunos ejemplos, a la izquierda una orejera de jade encontrada en Monte Albán y a la derecha personajes del códice *Nutall* que portan orejeras con pendientes.



Figura 37. Orejera de jade y personajes del códice *Nutall* que portan orejeras con pendientes.  
Fuente: Vela (2016).

#### 3.3.7.2 Bezotes

El bezote servía para señalar que su portador tenía un lugar especial en la jerarquía social, para poder portarlo, al individuo se le perforaba un círculo debajo del labio. Era un ornamento reservado a los miembros de la clase gobernante y aquellos que habían hecho los méritos suficientes en la guerra (Vela, 2015, p. 40). Se fabricaban en diversas

formas y materiales, según el autor, los gobernantes en su papel como líderes militares llevaban bezotes de oro con forma de cabeza de águila, como el de la Figura 38. Este singular emblema aparece durante el periodo posclásico; en particular para la región Oaxaqueña surge en el posclásico tardío (1300-1521 d.C.).

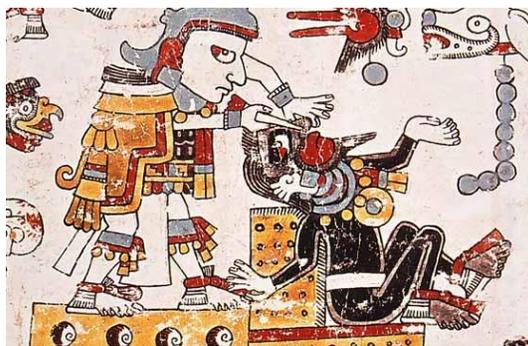


**Figura 38. Bezote de oro con cabeza de águila, cultura Mixteca.**

Fuente: Vela (2015).

### 3.3.7.3 Narigueras

La nariguera también era un elemento cuyo uso estaba reservado para los miembros de la elite. Vela (2015, p. 46) señala que por lo menos desde el periodo Clásico en algunos grupos, como los mixtecos, la investidura de los gobernantes incluía como uno de sus ritos principales la perforación de la nariz y la colocación de una nariguera. Esto se evidencia en la lámina 52 del Códice *Nutall* (Figura 39) que representa la consagración como gobernante del señor 8 Venado, Garra de Jaguar.



**Figura 39. Colocación de la nariguera al Señor 8 Venado.**

Fuente: Vela (2015).

Había por lo menos, dos tipos básicos de nariguera: una tubular o “de barra” que cruzaba la nariz y las del otro tipo tenían distintas formas que colgaban y cubrían la boca (Vela, 2010b).

### 3.3.7.4 Joyería sobrepuesta

La tradición de fabricar objetos de piedras preciosas se remonta por lo menos al Preclásico Medio. Contra lo que comúnmente se cree, no fueron el oro y la plata los materiales más valorados, sino las llamadas piedras verdes: el jade, la turquesa o la serpentina (Vela, 2015, p. 8). Los orfebres fabricaban vistosos collares y pulseras, compuestos con cuentas de diversas formas que remataban con cascabeles de oro o bronce. Los cascabeles, según Stresser-Péan (2012) eran utilizados por los guerreros para atraer la atención y protección de los dioses, a la vez que espantaba al adversario. En la Figura 40 se observa una urna de un personaje zapoteca que porta collares y orejeras.



**Figura 40. Urna zapoteca con collares y orejeras.**  
Fuente: Vela (2015).

Los hombres también usaban pecheras o pectorales, que eran colgantes de buen tamaño, fabricados con materiales como jade, concha y oro. Su uso estaba restringido a gobernantes, sacerdotes y guerreros. De acuerdo con (Pohl & Mcbride, 1991, p. 46) los pectorales cubrían el abdomen proporcionando algo de protección en el combate cuerpo a cuerpo, a la vez que con ellos hacían una magnífica exhibición. Destaca el pectoral en forma de máscara de un dios murciélago encontrado en Monte Albán, el cual se observa a la izquierda de la Figura 41 y a la derecha la posición en que fue encontrada la pieza.



**Figura 41. Pectoral del dios murciélago y posición de las piezas.**  
Fuente: Acosta (2004).

### 3.3.8 Armas de guerra

De acuerdo con Marcus & Flannery (2001, p. 22) las armas de guerra utilizadas por los zapotecos eran: a) la lanza, b) la honda, c) el *átlatl* o lanzadardos y d) la macana o espadón de madera, éstas se muestran en la Figura 42.

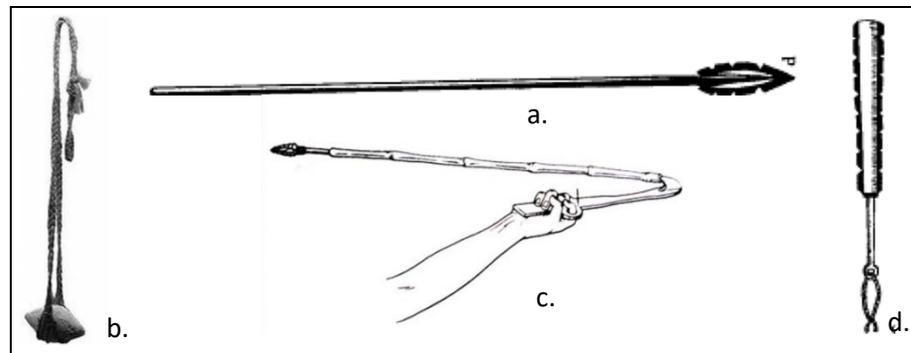


Figura 42. Armas de guerra utilizados por los zapotecos.

Fuente: Marcus & Flannery (2001).

Durante el Posclásico tardío, cuando los mixtecos entraron en el valle de Oaxaca, hubo una variación en las armas y armaduras. Los zapotecos y mixtecos utilizaron esencialmente las mismas armas: arcos y flechas, espadas de obsidiana, lanzas, hondas, palos y ocasionalmente hachas pequeñas, ambos estaban mejor equipados con armaduras de algodón, lanzas de empuje y eran típicos los estandartes de plumas; los soldados comunes solían combatir vistiendo sólo taparrabos y llevando arcos y flechas, hondas y quizás escudos (Hassig, 1992, p. 149). En la figura 43 se observa de izquierda a derecha dos guerreros zapotecos y tres guerreros mixtecos.

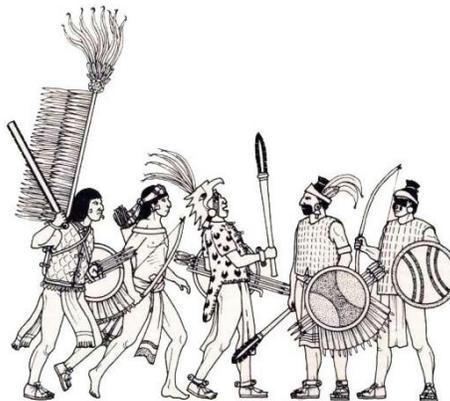
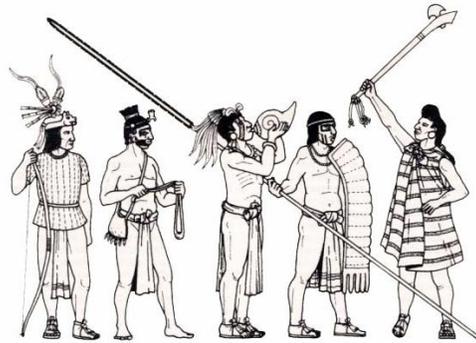


Figura 43. Guerreros zapotecos y mixtecos, Posclásico.

Fuente: Heath (1999).

Según Bodley et al. (2009) en este mismo periodo, las sociedades militares de los nobles usaban elaborados trajes representando águilas y jaguares. Los mixtecos continuaron las sociedades de jaguar y águila y sus sistemas de armas fueron similares a los zapotecas. En la figura 44 se observa de izquierda a derecha dos personajes mixtecos, junto con otros guerreros nativos.

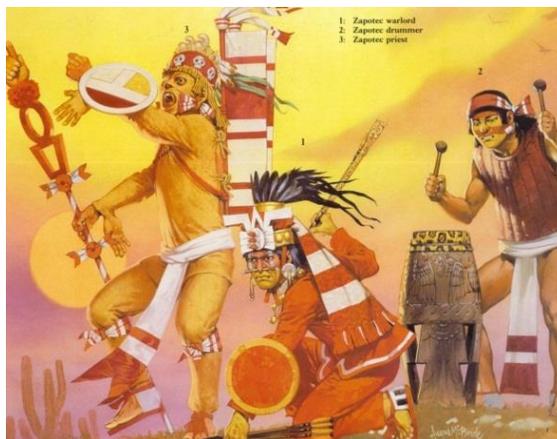


**Figura 44. Guerreros Mixtecos y otros guerreros nativos.**  
Fuente: Heath (1999).

### 3.3.9 Referentes visuales

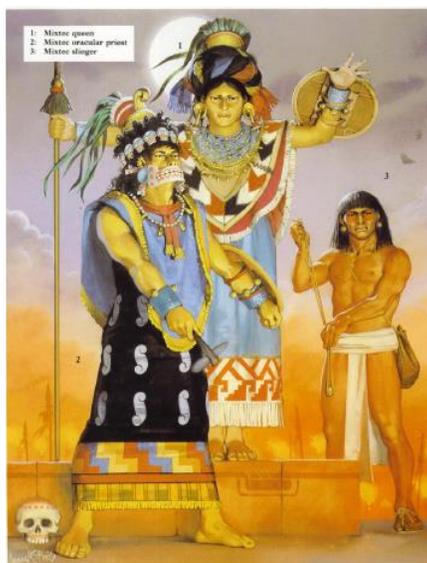
A continuación, se presentan algunas ilustraciones de personajes zapotecos y mixtecos del periodo Posclásico, de las cuales Pohl & McBride (1991, pp. 46-47) describen la vestimenta que utilizan:

En la Figura 45 se observa: un jefe militar (1), un baterista (2) y un sacerdote (3). El jefe militar porta un traje rojo de cuero, el chaleco tiene bordada una banda blanca de algodón; el tocado que cubre hasta la espalda aparece en relieves de piedra a finales del Clásico y en el código *Nuttall* como la corona real de Zaachila. El baterista viste un *icbcabuipilli* con acolchado vertical, teñido en color rojo y un taparrabos que cuelga hasta la pantorrilla. Los sacerdotes, de acuerdo con la descripción de Pohl & McBride (1991, p.47) aparecieron en el campo de batalla cubiertos con las pieles de las víctimas, con la cara casi completa como una máscara; el tocado consiste en una peluca amarilla, cinta de cuero rojo y un grupo de plumas de águila y quetzal; el bastón aparece en el código *Nuttall* como el estandarte real de Zaachila.



**Figura 45. Personajes zapotecos: jefe militar (1), baterista (2) y sacerdote (3).**  
 Fuente: Pohl & McBride (1991).

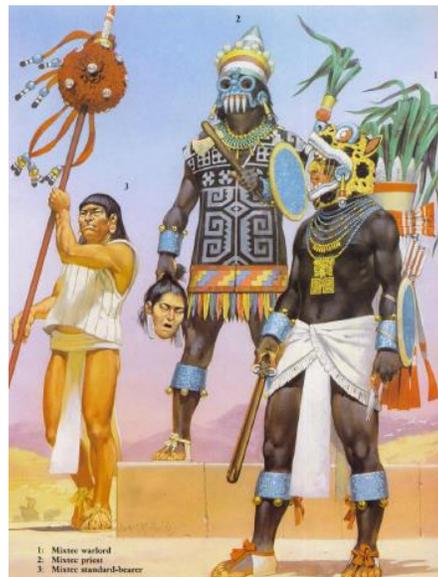
En la Figura 46 se observa: una reina mixteca (1), un sacerdote oracular (2) y un hondero (3). La reina viste un enredo azul y un *quechquemiltl* bordado con comillas angulares que representan la guerra, su cabello se encuentra envuelto en tiras de tela enrolladas en la cabeza; las mujeres mixtecas acostumbraban a teñir su piel de amarillo. El sacerdote oracular según Pohl & McBride (1991, p.46) está basado en Nueve Hierba del código *Vindobonensis*, aunque vestido como una mujer que representa a la diosa de la muerte. El hondero viste un taparrabos; la honda, aunque era utilizada comúnmente por los campesinos en la caza menor, también era muy precisa en la guerra.



**Figura 46. Personajes mixtecos: reina mixteca (1), sacerdote oracular (2) y hondero (3).**  
 Fuente: Pohl & McBride (1991).

En la Figura 47 se observan tres personajes mixtecos: un jefe militar (1), un sacerdote (2) y un abanderado (3). Basado en los trajes de Ocho Venado, en el códice *Nuttall*, el jefe militar viste un taparrabos y un faldellín, un casco tallado en madera cubierto con piel de jaguar, coronado por un conjunto de plumas de quetzal colocadas en un montaje de oro; también porta pulseras y un pectoral de oro con cuentas de turquesa.

El personaje que representa el sacerdote mixteco según Pohl & Mcbride (1991, p.46) se basa en las apariencias del padre de Ocho Venado en los códices *Bodley* y *Nuttall*. Tiene el cuerpo pintado de negro y lleva pulseras de cuero con cuentas de turquesa, porta un *xicolli* negro ricamente bordado con diseños blancos que representan flores, animales y dibujos geométricos; también usa una mascarilla de madera y un sombrero distintivo de tela que representan la deidad de la lluvia mixteca *Dz̄ahui*. El abanderado viste un *ichcabuipilli* blanco con acolchado vertical. El estandarte representa la casa real de Tilantongo, coronada por una enorme bola con racimos de plumas de guacamaya.



**Figura 47. Personajes mixtecos: jefe militar (1), sacerdote (2) y abanderado (3).**  
Fuente: Pohl & Mcbride (1991).

## 4. Desarrollo de los personajes

**D**espués de recopilar información acerca de los principios básicos para el desarrollo de personajes 3D y de estudiar el contexto histórico y social de Monte Albán, identificando los aspectos relevantes de la cultura zapoteca y las características propias de la indumentaria y accesorios, se presenta en este capítulo el proceso de elaboración de dos personajes que serán utilizados en el entorno virtual de Monte Albán. Se describen las herramientas digitales empleadas y el flujo de trabajo realizado, siguiendo las etapas del proceso que involucran la definición del concepto, *sketch art*, modelado, mapeado UV, texturizado, *rigging* y animación.

### 4.1 Herramientas utilizadas

Durante el desarrollo de los personajes se utilizaron diferentes herramientas, cada una adquirió relevancia según el proceso que se deseaba crear:

**ZBrush:** es un programa de modelado 3D, escultura y pintura digital con el que es posible esculpir modelos altamente detallados, lo que le ha dado popularidad en la industria del cine, videojuegos e ilustración. A través de su gran variedad de pinceles se puede esculpir sobre un modelo 3D, aumentando la cantidad de polígonos según se vaya añadiendo detalle. Para este proyecto se utilizó ZBrush 2020 como el principal programa para el modelado en alta resolución y texturizado de los personajes, posteriormente para realizar una retopología y obtener los modelos en baja resolución; también para la extracción de mapas de textura. Se eligió este programa por la capacidad que tiene en el manejo de modelos de gran cantidad de polígonos con mucha fluidez, pudiendo realizar diversos procesos del desarrollo.

**3dsMax:** es un programa de modelado, animación, renderización y visualización 3D, de los más populares en la industria de gráficos por computadora y utilizado por desarrolladores de videojuegos, artistas de efectos visuales y diseñadores gráficos para la creación de escenas y experiencias de realidad virtual. Se utilizó 3dsMax 2019 en el

proceso de *rigging* para la asignación de un esqueleto a los modelos y para la animación de las acciones de los personajes. Se eligió este programa por su compatibilidad con los demás (ZBrush y Unity) y porque cuenta con las herramientas y posibilidades para resolver las necesidades requeridas.

**Unity:** es la plataforma líder para el desarrollo y la operación de contenido 3D interactivo en tiempo real, proporciona las herramientas necesarias para la creación de videojuegos y su publicación en variedad de dispositivos. En este proyecto se utilizó la versión de Unity 2020.1.6f1 para probar las secuencias de movimiento de los personajes y verificar que sus características fueran las apropiadas para un entorno virtual. Se eligió este programa por la calidad en los gráficos, por ser multiplataforma, y por la accesibilidad a través de su licencia gratuita.

**Photoshop:** es un programa de creación y edición de imágenes, durante este proyecto se utilizó Photoshop CC 2021 para la realización de los bocetos y hojas modelo de los personajes, la creación de *alphas* empleados en el modelado de algunas partes del personaje y para la edición de algunos mapas de textura e imágenes de los ciclos de animación. Se optó por este programa por la familiaridad que se tiene con su uso en el manejo de las herramientas.

## **4.2 Personaje 1: Guerrero zapoteca**

A continuación, se detalla el proceso para el desarrollo del primer personaje, siguiendo las etapas presentadas en el capítulo 2.

### **4.2.1 Definición del concepto**

Con base en la información descrita en el capítulo anterior, se concluye que la guerra era esencial para la cultura zapoteca, con ello obtenían ciertos beneficios como el dominio territorial, la obtención de mano de obra esclava, el tributo y la legitimación de dirigentes o linajes. Ser guerrero era una misión exclusiva de los hombres y desde que nacían ya tenían su destino marcado hacia el rol de la guerra; permanecían con sus

padres los primeros años de vida, pero durante su infancia y juventud recibían una rígida formación como guerreros y se les instruía sobre el uso de las armas.

De esta manera surge la idea de crear como primer personaje un guerrero zapoteca, previsto para una experiencia en tercera persona, de tal manera que el usuario podrá apreciarlo de cuerpo completo y ver sus movimientos.

El trasfondo del personaje, debido a que hasta el momento no se tiene definida una narrativa o dinámica durante el recorrido, no será tan profundo y detallado, es decir, no importa que el personaje tenga un pasado pues en este caso no influirá en su comportamiento futuro; el personaje solo se limita a realizar el recorrido de la manera que el usuario le indique. Por tanto, se define solo la situación presente y futura, así como los aspectos relevantes de su comportamiento y habilidades, los cuáles se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Tránsito del guerrero zapoteca.**

PRESENTE	FUTURO
El guerrero se encuentra en la zona arqueológica de Monte Albán en espera de que el usuario comience el recorrido.	Deberá desplazarse por el sitio como el usuario le indique, ya sea caminando o corriendo, si es necesario podrá dar un salto.
PERSONALIDAD	
Tiene un comportamiento dominante, es independiente, físicamente activo, insensible, combativo, audaz y posee habilidad en el manejo de la lanza.	

Durante el diseño y la definición del estilo visual, se profundizó en los aspectos relacionados con la apariencia del personaje. La guerra era exclusiva casi siempre de la clase dirigente, participaban hombres adultos fuertes y ágiles, de anatomía compacta, robusta y musculosa. Destacan los rasgos característicos de las culturas mesoamericanas como la piel bronceada, la cabeza relativamente ancha y el cabello oscuro y lacio que cubre la nuca. El rostro zapoteca presenta características rudas, toscas y resaltadas en ojos, nariz, labios y orejas, como se observa en algunas representaciones de urnas y otras ilustraciones (Figura 48).



Figura 48. Referencias visuales del rostro zapoteco.

Un guerrero zapoteca acudía a la guerra luciendo su ropaje de gala, por lo que para la vestimenta se han considerado las prendas básicas utilizadas en el periodo Clásico, que fue el de mayor esplendor para la cultura zapoteca. Para su elección también se tomó como referencia la Figura 49 que corresponde al personaje 5 Flor de la dinastía de Zaachila, del códice *Nutall*, en la cual se han identificado las prendas principales.

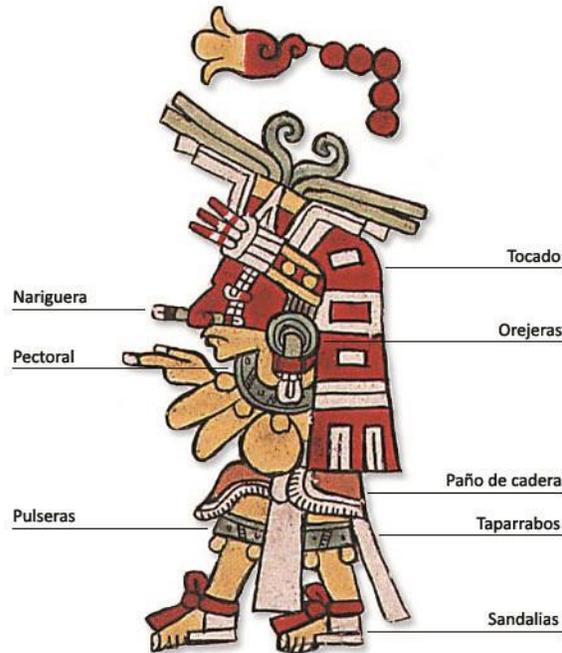


Figura 49. Personaje 5 Flor, códice Nutall.  
Fuente: Vela (2009).

De esta manera, el guerrero zapoteca viste un taparrabos de algodón con los extremos adornados que cuelgan adelante y atrás hasta la altura de la rodilla; un paño de cadera con flecos en la orilla y sandalias de cuero. La tilma era una prenda opcional y en este caso se ha omitido para dejar ver la figura del personaje.

Para resaltar su apariencia, luce un vistoso tocado adornado con plumas de águila y de quetzal, orejeras de jade con pendientes de oro y una nariguera. En las manos y piernas porta pulseras de cuero adornadas con piedras de jade y con remates de cascabeles de oro. También luce una pechera adornada con cuentas de jade y cascabeles, de la que cuelga una máscara del dios murciélago con pendientes de jade.

Presenta pintura facial, característica de las culturas mesoamericanas, al que concebían un significado espiritual. Los colores empleados son rojo y amarillo, los cuáles eran asociados con el fuego, el calor, el sol y la guerra. El arma elegida para el guerrero fue la lanza, un arma de empuje utilizada mayormente para la lucha cuerpo a cuerpo, fabricada en madera con cuchillas incrustadas y punta de obsidiana.

#### 4.2.2 Sketch Art

Los bocetos proporcionan las formas y las proporciones básicas para materializar las ideas, y poco a poco dotar del aspecto final; se puede decir que son las primeras previsualizaciones de los personajes. Para representar la figura humana del guerrero zapoteca se utilizó un canon de 8 cabezas de alto que corresponde al cuerpo humano ideal, es decir, se puede dividir el cuerpo en 8 partes iguales, siendo la cabeza la unidad. En la Figura 50 se presenta la hoja modelo del personaje, que incluye la vista frontal y lateral, en donde se observan las proporciones del cuerpo y el diseño de la vestimenta y accesorios definidos en la etapa anterior.



Figura 50. Hoja modelo en blanco y negro del guerrero zapoteca.

Posteriormente se agregaron los colores acordes a los materiales propuestos, lo cual proporciona una idea más completa de cómo lucirá el personaje. Esto facilitará el modelado, ya que se tiene una vista previa en diferentes ángulos (Figura 51).

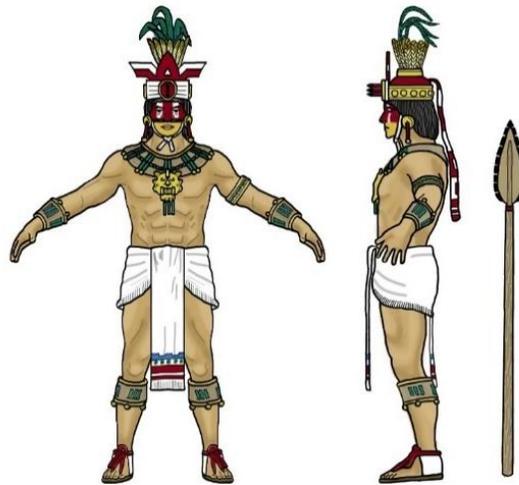


Figura 51. Hoja modelo en color del guerrero zapoteca.

### 4.2.3 Modelado 3D

Para el modelado de los personajes se utilizó escultura digital en ZBrush, ya que esta técnica permite un modelado en alta resolución, lo que posibilita realizar gran cantidad de detalles y refinar los modelos a profundidad. El flujo de trabajo fue primeramente crear una malla en alta resolución que contuviera todos los detalles de geometría y color, y posteriormente realizar una retopología para obtener una malla de baja resolución o con menos polígonos, a la que le fueron transferidos todos los detalles de primera. El proceso se detalla en los siguientes apartados.

#### 4.2.3.1 Creación de la malla en alta resolución (Topología)

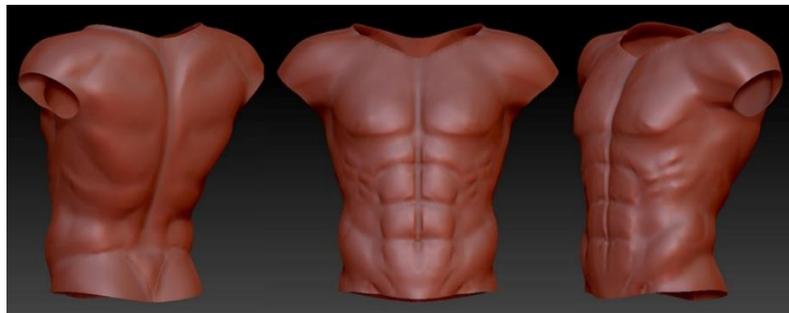
Para el guerrero zapoteca se utilizó como base uno de los modelos de los que dispone el programa de Zbrush, el cual en principio no posee ningún nivel de subdivisión de polígonos (Figura 52). Esto con el objetivo de agilizar el proceso y comenzar a esculpir los detalles sobre un modelo proporcionado que cumple con el canon requerido; además, la pose con los brazos a mitad entre los extremos de flexibilidad evitará complicaciones en el proceso de *rigging*.



**Figura 52. Modelo base en ZBrush.**

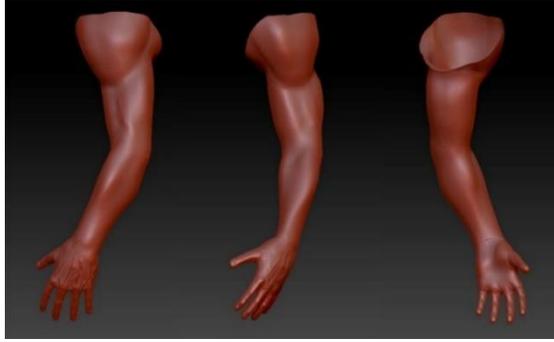
Utilizando los diferentes pinceles del programa, tales como el pincel *Standard*, *ClayTubes*, *Inflat*, *Move*, entre otros, se fue esculpiendo el modelo considerando la anatomía humana para generar la forma muscular del cuerpo, a mayor nivel de detalle fue necesario aumentar los niveles de subdivisión de polígonos. Para aligerar el proceso, se trabajó con *Polygroups*, es decir, agrupaciones de polígonos definidos para identificar las diferentes partes del cuerpo.

En la Figura 53 se observa el esculpido del torso, el cual se fue detallando poco a poco tanto de la parte frontal, posterior y lateral, teniendo en cuenta la parte conceptual definida por un personaje de apariencia musculosa y robusta.



**Figura 53. Esculpido del torso.**

Una vez terminado el torso, se comenzó a esculpir los brazos y las piernas haciéndolo de manera simétrica para optimizar el proceso. En la Figura 54 se muestran los detalles del brazo, en el que se fueron perfilando y definiendo los músculos y se agregaron detalles en las manos, como uñas y venas.



**Figura 54. Esculpido de los brazos.**

En la Figura 55 se observa el esculpido de las piernas, que de igual manera se fueron perfilando y definiendo con más detalle; se marcaron también las uñas y venas en los pies.



**Figura 55. Esculpido de las piernas.**

Posteriormente se realizó el esculpido de la cabeza, añadiendo detalles en la cara como los pómulos, una nariz más pronunciada, labios gruesos, se agregaron arrugas en el entrecejo, ojos, y comisuras en los labios para dar la apariencia de una persona adulta. Se utilizaron *alphas* disponibles en ZBrush para añadir texturas en los labios y poros en la piel, como se aprecia en la Figura 56.



**Figura 56. Esculpido de la cabeza.**

El cabello se realizó partiendo de una esfera, la cual se fue modificando con el pincel *Move Geometrical* y se fue detallando con el pincel *Standard* para crear cuidadosamente los cabellos; en la Figura 57 se observa este proceso.



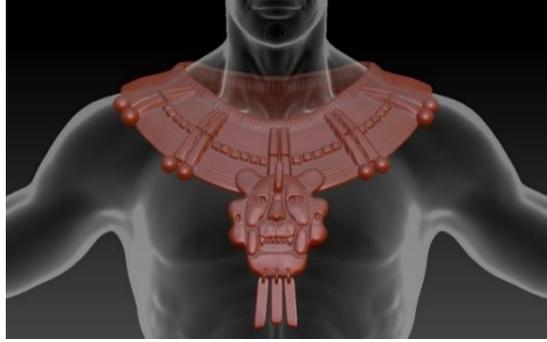
**Figura 57. Modelado del cabello.**

Después de haber realizado los detalles del cuerpo y cara del personaje, se procedió a crear el taparrabo y el faldellín, elaborados en una sola pieza (Figura 58). Se partió de formas primitivas disponibles en las *Tools* de ZBrush, un plano y un cilindro, los cuales se fueron modificados con el pincel *Standard* hasta obtener la apariencia de tela.



**Figura 58. Modelado del taparrabo y faldellín.**

Para la pechera se utilizó la herramienta *Extract*, la cual forma un nuevo objeto a partir de un área enmascarada. Se usaron *alphas* creados en Photoshop para el modelado de las piedras y máscara del dios murciélago; mismos que se fueron detallando con el pincel *Standard*. También se incorporaron esferas para los cascabeles, anillos y cubos para los colgantes, como se observa en la Figura 59.



**Figura 59. Modelado de la pechera.**

Las pulseras y las sandalias también se crearon con la herramienta *Extract*, y se agregaron esferas que representan los cascabeles. En la pulsera del brazo se añadieron grecas, las cuáles se realizaron mediante un *Alpha* creado en Photoshop. Con el pincel *Standard* se fueron refinando los detalles, mismos que se aprecian en la Figura 60.



**Figura 60. Modelado de pulseras y calzado.**

Las orejeras y nariguera se crearon utilizando formas primitivas, esferas y cilindros que se fueron deformando o detallando con el pincel *Standard* (Figura 61).



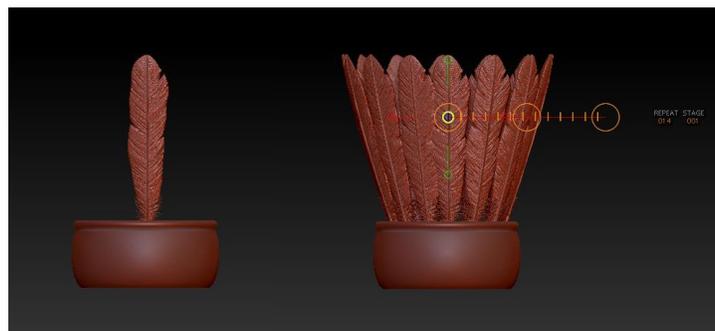
**Figura 61. Modelado de orejeras y nariguera.**

El tocado se compone de diversas piezas que fueron creadas por separado para después integrarlas en una sola, en su mayoría se trata de formas primitivas como planos, cilindros y esferas, mismos que se fueron deformando o uniendo mediante herramientas booleanas; también se detallaron con el pincel *Standard*. En la figura 62 se observa el modelo completo del tocado.



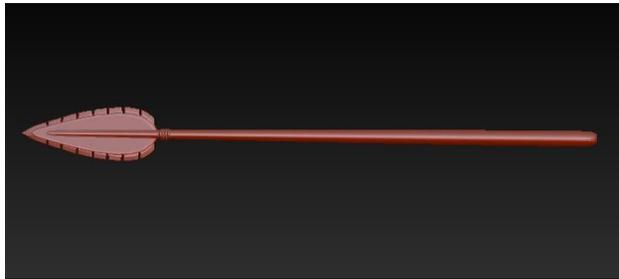
**Figura 62. Modelado del tocado.**

Para las plumas se utilizó el modelo adjunto al libro electrónico *Feathers in ZBrush*, disponible en [www.zbrushguides.com](http://www.zbrushguides.com). Se usó geometría radial para reproducir las demás plumas, asignando un valor de catorce repeticiones (Figura 63). Las plumas de quetzal fueron representadas por el mismo modelo, pero variando las longitudes de cada una.



**Figura 63. Geometría radial aplicada a las plumas del tocado.**

Por último, se realizó el modelado de la lanza, partiendo de un cilindro para la base de madera y una esfera para las incrustaciones de piedra y la parte que las sostiene, los cuáles se fueron modificando con la ayuda de algunos deformadores de ZBrush. Los cortes fueron hechos con el pincel *Trim Curve* y con el pincel *Pinch* se creó el filo en las piedras, como se observa en la Figura 64.



**Figura 64. Modelado de la lanza.**

En la Figura 65 se presenta el modelo 3D en alta resolución del guerrero zapoteca, donde se aprecian cada una de las partes que lo conforman a través de su vista frontal, posterior y lateral. La malla está compuesta de 52 millones de polígonos en total, lo que permitió lograr todos los detalles, sin embargo, no es un modelo adecuado para un entorno virtual debido a que se llevaría mucho tiempo en procesarlos.



**Figura 65. Modelo en alta resolución del guerrero zapoteca.**

#### 4.2.4 Texturizado

En los programas de modelado 3D comúnmente se suele realizar el mapeado UV después de modelado y antes del texturizado, sin embargo, en ZBrush este proceso se realiza a la inversa, ya que se puede aplicar texturas directamente a la superficie sin que sean necesarias las coordenadas UV, lo que es imposible en otros programas.

El texturizado consistió básicamente en la asignación de material y aplicación de color a las diferentes partes del modelo mediante el uso de las herramientas Polypaint de ZBrush. Se comenzó con el cuerpo del personaje utilizando *MatCap White01* como material base, después se aplicó color rojo en todo el cuerpo, marcando con azul las partes de sombra y con amarillo las partes de luz; enseguida se fueron aplicando diferentes capas de color en tonos cafés y beige hasta llegar al tono final de la piel (Figura 66).



Figura 66. Material y colores empleados en el cuerpo del personaje.

Se continuó utilizando el material *MatCap White01* en las demás partes del personaje, el taparrabo y faldellín se pintaron de blanco y se agregaron tonos grises para resaltar las arrugas de la tela, después se pintaron algunas formas en rojo y azul que simulan el bordado en los extremos (Figura 67).



**Figura 67. Texturizado del taparrabo y faldellín.**

En la pechera se aplicaron tonos cafés para la base de cuero y se utilizó el material *RefractedPlasticB* para dar el brillo necesario; las piedras se pintaron de verde con tonos en gris y blanco para representar el material de jade. Los cascabeles y bordes se pintaron de amarillo usando el material *gw\_worn\_gold*. En la Figura 68 se puede observar los colores y materiales asignados a la pechera.



**Figura 68. Texturizado de la pechera.**

Se continuó utilizando estos materiales y colores en las pulseras, variando el color en la base de cuero, donde se aplicaron tonos en beige y café. Para el calzado se usaron tonos en blanco, rojo, café y se aplicaron tonos oscuros para las sombras, esto se aprecia en la Figura 69.



**Figura 69. Texturizado en pulseras y calzado.**

El cabello se pintó de negro con tonos en gris para dar luz; las orejeras se pintaron de amarillo y rojo usando también el material en *gw\_worn\_gold*. En la Figura 70 se observa el detalle del cabello, orejeras y nariguera, donde se puede apreciar también la pintura facial en rojo, amarillo y blanco.



**Figura 70. Texturizado en cabello, orejeras y nariguera.**

Para el tocado se continuó se siguió utilizando el material *gw\_worn\_gold* en color amarillo para las partes de oro; se aplicaron tonos verdes y azules para las plumas de quetzal y tonos amarillos y cafés para las plumas de águila, los demás colores empleados son rojo y blanco para la tela que cuelga y detalles frontales del tocado, esto se aprecia en la Figura 71.



Figura 71. Texturizado en tocado y otros accesorios.

En la Figura 72 se observa el modelo en alta resolución del guerrero zapoteca completamente texturizado, con los colores y materiales propuestos para cada parte del personaje, los cuáles se aprecian en sus vistas frontal, posterior y lateral.



Figura 72. Texturizado del guerrero zapoteca.

#### 4.2.4.1 Creación de la malla en baja resolución (Retopología)

Tras finalizar la etapa de texturizado, el siguiente paso es realizar la retopología, la cual consiste básicamente en rediseñar la malla para reducir la cantidad de polígonos. La optimización del modelo conlleva a un mejor desarrollo, sobre todo a la hora de animar, ya que a menor poligonaje es más rápido trabajarlo digitalmente.

Para realizar la retopología se empleó *Zremesher* de ZBrush, que es una herramienta de retopologización automática y básicamente consiste en indicar la carga poligonal deseada y el programa realiza el cálculo. También se utilizó *Zremesher Guides* para trazar líneas guía en la parte frontal y posterior del cuerpo del personaje, enfatizando en las articulaciones, para así tener un mejor control de los *Edge loops*. Los *Edge loops* son una serie de polígonos conectados en la superficie de un objeto, que lo rodean completamente y termina en el punto de partida formando un anillo.

Una vez trazadas las líneas guía, se definió la carga poligonal considerando el menor número de polígonos y se ejecutó el *Zremesher*. Este proceso se realizó varias veces hasta conseguir una disposición correcta, pero con menos polígonos. Aun así, fue necesario realizar un ajuste manual con la herramienta *Zmodeler* para modificar o eliminar los vértices o aristas y reducir aún más el número de polígonos. En las Figuras 73 y 74 se observa a la izquierda las líneas guía y a la derecha el resultado de la retopología del cuerpo, para la vista frontal y posterior respectivamente.

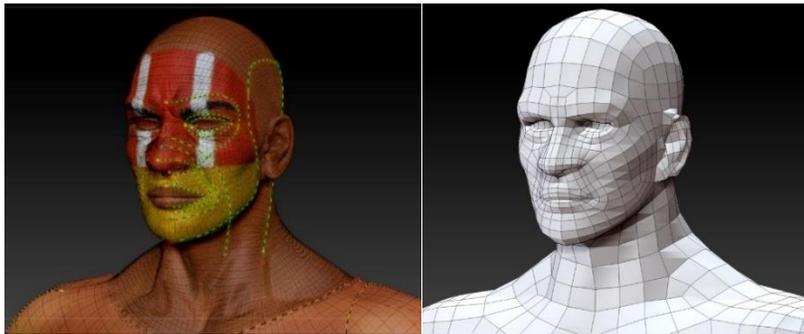


Figura 73. Líneas guía y retopología del cuerpo, vista frontal.



**Figura 74. Líneas guía y retopología del cuerpo, vista posterior.**

También se trazaron líneas guía en la cara del personaje, como resultado se obtuvo una malla mas ordenada y con menos polígonos, como se observa en la Figura 75.



**Figura 75. Trazo de líneas guía y resultado de la retopología en la cara.**

El mismo proceso de retopología se llevó a cabo en las demás partes del personaje, como la ropa, los accesorios, etc., generando una malla del modelo completo con menor número de polígonos.

Por último, se utilizó la herramienta proyectar de ZBrush para transferir los detalles de color y de geometría del modelo de alta resolución al de baja resolución, haciendo una subdivisión de polígonos durante el proceso. En la Figura 76 se presenta una comparativa, a la izquierda la malla en alta resolución compuesta de 52 millones de polígonos y a la derecha la malla de baja resolución que conserva los mismos detalles que la primera, pero con menor cantidad de polígonos. El personaje completo, incluyendo la lanza se redujo a 8993 polígonos.

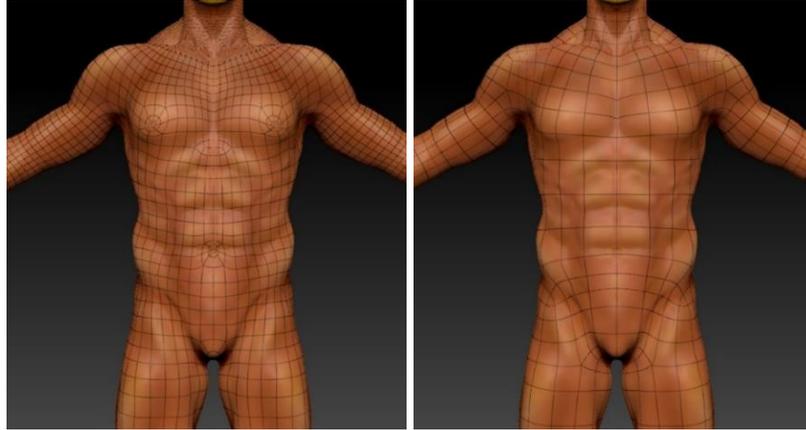


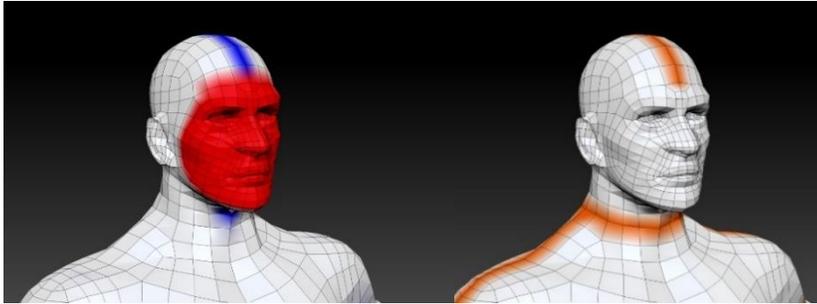
Figura 76. Comparativa malla *high poly* vs malla *low poly*.

#### 4.2.5 Mapeado UV

Los mapas de textura son necesarios para exportar el personaje al programa de animación y conservar sus texturas y detalles. Uno de ellos es el mapa UV, conocido en ZBrush como *unwrap* o despliegue, ya que es como si la malla se desvolviera o fuera desplegada sobre un plano 2D.

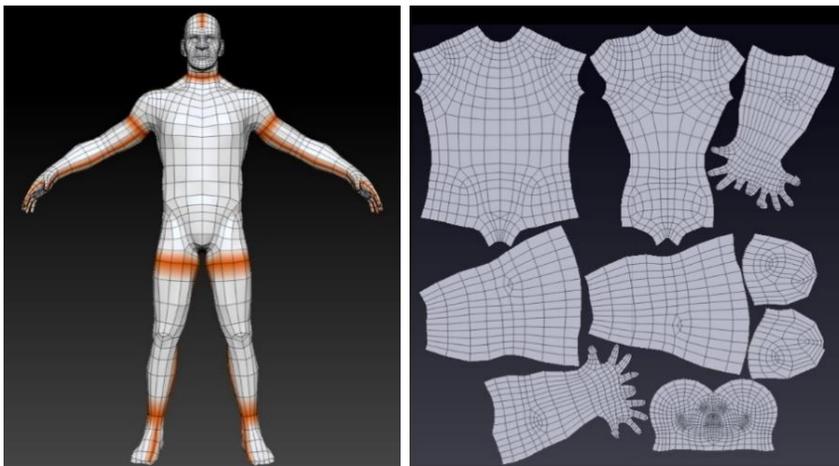
En este caso, se utilizó el plugin *UV Master* de ZBrush que permite emplear los *polygroups* creados previamente para definir los cortes en la geometría, generando los mapas UV de manera automática. También se pueden atraer esos cortes hacia zonas marcadas con la herramienta Activar pintura de control; la cual facilita el proceso, ya que se debe procurar que los cortes se realicen en los lugares menos visibles de la geometría.

A través de la opción *AtraerDesdeOA* el programa atrae las líneas de corte de manera automática hacia las zonas donde las caras de los *polygroups* están opuestas. Mediante las opciones de *Atraer* y *Proteger* se puede realizar de forma manual, pintando de azul la parte del modelo donde se quiere que se realicen los cortes y de rojo las áreas que deben quedar intactas. En la Figura 77 se observa a la izquierda el área coloreada en la cara del personaje y a la derecha las costuras o líneas de corte generadas por el programa.



**Figura 77. Áreas coloreadas y costuras generadas.**

Las costuras finales en el cuerpo del personaje se observan a la izquierda de la Figura 78 y a la derecha, la distribución de los UVs desplegados.



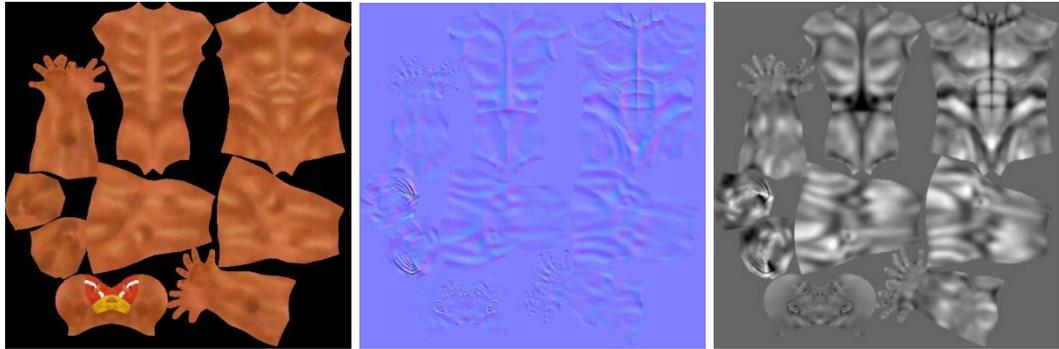
**Figura 78. Costuras finales y distribución de UVs.**

El proceso descrito anteriormente se realizó también con las demás partes del personaje como la ropa y accesorios. En el plugin *UV Master* se trabaja desde un inicio con un clon o copia de modelo, por lo que lo siguiente fue copiar y pegar los UVs generados al modelo de baja resolución.

#### **4.2.5.1 Mapas de textura**

Se crearon los mapas de textura o imágenes proyectadas sobre el modelo 3D, para ello se utilizó la herramienta *Exportador Multi Mapa* de ZBrush que sirve para generar y exportar los mapas de los que dispone el programa. El mapa difuso (denominado mapa

de textura en Zbrush) incluye los colores del modelo, el mapa normal básicamente representa el volumen y el mapa de desplazamiento controla la perturbación del relieve en una sola dirección; combinando estos dos últimos suele ser suficiente para recrear los detalles, además de que, según los expertos, un mapa normal es más rápido de renderizar en tiempo real. En la Figura 79 se presentan los tres mapas de textura obtenidos para el cuerpo del guerrero.

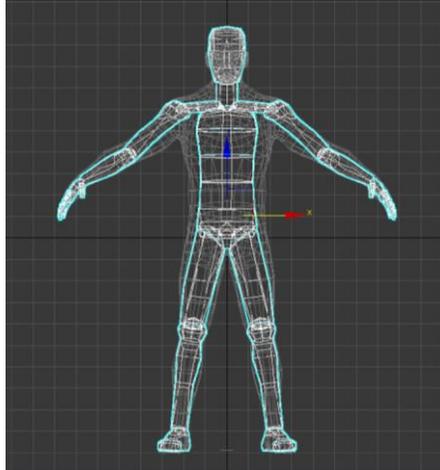


**Figura 79. Mapa difuso, mapa normal y mapa de desplazamiento del guerrero.**

De esta manera se obtuvieron los mapas de textura para cada *subtool* del personaje, la dimensión elegida fue de 2048 x 2048 píxeles que representa texturas en alta resolución y es el tamaño que se utiliza comúnmente en entornos virtuales de entretenimiento para PC y consola. También se exportó la malla del modelo 3D en formato .OBJ para su manipulación en el programa 3DsMax donde se asignaron cada una de las texturas mediante el Editor de materiales.

#### **4.2.6 Rigging**

Para el *Rigging* se creó un *biped* incluido en las herramientas de 3DsMax, el cual incluye toda la jerarquía de huesos que se necesita para animar el personaje, su uso facilita este proceso, ya que no se tiene que crear y nombrar cada hueso por separado. El *biped* se ajustó al tamaño y forma del modelo mediante las herramientas de mover, escalar y rotar, el resultado se observa en la Figura 80.

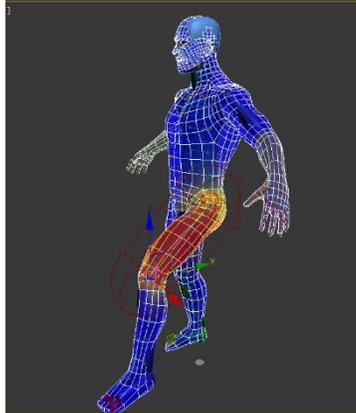


**Figura 80. Ajustes del *biped* para el guerrero zapoteca.**

Posteriormente, el sistema de huesos fue vinculado a la malla a través del modificador *Skin*. Este modificador crea envolventes que generan una influencia hacia los vértices más cercanos y permite que la malla se mueva o se deforme junto con los movimientos del esqueleto. El proceso de ajustar la malla para que el personaje se anime sin dobleces o torceduras extrañas se le conoce como *Skinning*.

El *Skinning* del personaje básicamente consistió en indicar la influencia de cada uno de los envolventes sobre los vértices de la malla, ya que como el programa los crea por defecto, a veces no son del todo correctos y en algunos casos éstos abarcan otras áreas debido a su gran tamaño. Para facilitar el proceso se utilizó la herramienta *Geodesic Voxel Solver*, mediante la cual se ajustan los envolventes en automático, en algunos casos se usó la herramienta *Weight tool* del modificador *Skin*, que permite modificar el peso que tiene cada hueso sobre los vértices, proporcionando valores entre 0 y 1 para indicar el menor o mayor grado de influencia respectivamente.

En la Figura 81 se observa el área de movilidad al flexionar la pierna una vez realizado el proceso de *Skinning*, los vértices de color rojo indican una mayor movilidad, los de amarillo son de mediana movilidad y los de azul de muy poca o casi nula.



**Figura 81. Área de movilidad en la pierna del personaje.**

Dado que el personaje presenta partes independientes, se aplicó el modificador *Skin* para cada una. Se verificó que el hueso de la cabeza tuviera influencia sobre el tocado y que la cadera tuviera influencia sobre el taparrabos. En general se revisó que el personaje completo pudiera moverse sin deformaciones.

#### **4.2.7 Animación**

Teniendo el personaje con su sistema de huesos, el siguiente paso fue realizar los ciclos de animación de sus principales acciones, durante este proceso se empleó la técnica de animar utilizando fotogramas claves, donde se crean las poses principales y el programa realiza la interpolación; esto permitió tener animaciones visibles en todo momento e ir trabajando de una posición a la siguiente, modificar o mover las posiciones en la línea del tiempo.

Para las animaciones se consideró realizar lo siguiente:

- Animación en el sitio: Inmóvil
- Animaciones de movimiento: caminar, correr y saltar.

##### **4.2.7.1 Inmóvil**

Es el movimiento en el que el usuario no está haciendo uso del controlador y el personaje permanece de pie en posición de espera. La animación consta de 80 fotogramas y se compone de dos estados: la respiración y el movimiento de la cabeza.

El personaje se encuentra en una posición relajada, los brazos y hombros relajados, las manos hacia el cuerpo y las piernas un poco flexionadas. Para la respiración se crearon las poses cada 20 fotogramas, primero para realizar la inhalación y después para la exhalación.

Se utilizó la opción *Set Planted Key* para fijar los pies, para la inhalación se realizó un movimiento vertical del cuerpo, originando una elevación de la cadera, del torso y brazos; para la exhalación se realizó el movimiento contrario haciendo que las piernas se flexionen nuevamente. También se incluyó un ligero movimiento de la cabeza a la izquierda en el fotograma 40 y a la derecha en el fotograma 60. En la Figura 82 se muestran las poses clave para esta animación.



Figura 82. Ciclo de la animación inmóvil del guerrero.

#### 4.2.7.2 Caminar

El ciclo de caminar es una acción primaria fundamental para cualquier movimiento. En esta animación, la acción es impulsada por el movimiento de las piernas y la cadera, se derivan otras acciones secundarias como balancear los brazos o la cabeza, que complementan la animación. El programa de 3dsMax incluye una herramienta de animación llamada *Footstep Mode* que permite utilizar fotogramas clave con patrones de pasos definidos, la posición y orientación de cada paso en la escena controla donde pisa el bípedo (Figura 83).

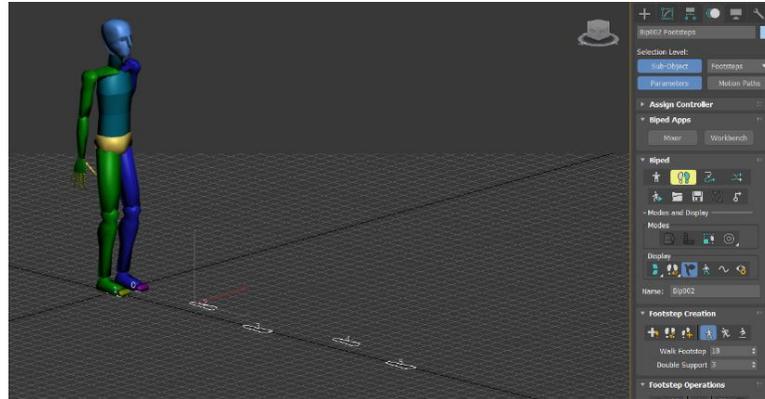


Figura 83. *Biped* utilizando *Footstep Mode* en 3dsMax.

Con el *Footstep Mode* se definieron 6 pasos, de los cuáles sólo se obtuvieron las posiciones clave y hacer una animación cíclica, haciendo coincidir la pose del primer fotograma con la del último. Se realizaron ajustes en abertura de los pies y posturas de las manos, en particular la que sostiene la lanza, la cual no se incluyó en las animaciones debido a que se importó directamente en la plataforma de Unity.

La animación consta de 30 fotogramas, con cinco posiciones clave:

- **Contacto:** pie izquierdo adelante y pie derecho atrás, los brazos en oposición a las piernas para dar equilibrio e impulso.
- **Baja:** la pierna se flexiona, absorbiendo el peso del movimiento.
- **Pose media:** al estar recta la pierna, se elevan la pelvis, el cuerpo y la cabeza ligeramente.
- **Sube:** el pie que empuja lleva la pelvis, el cuerpo y la cabeza a su posición más alta. Después el pie se estira para ubicarse en la pose de contacto.
- **Contacto:** pie derecho adelante y pie izquierdo atrás.

Los fotogramas clave definidos sirven para dar un primer paso y se aprecian en la Figura 84. Para el segundo paso se realizaron las mismas posiciones, pero en sentido opuesto. Durante el ciclo también hay una ligera rotación en la cadera y los hombros.



Figura 84. Ciclo caminar del guerrero.

#### 4.2.7.3 Correr

La carrera es en gran medida un elemento básico, cuando el personaje parece tener prisa por llegar a algún lugar o escapar de algún peligro. Difiere de la caminata en que hay una fase de suspensión, en el que la figura abandona el suelo. Para realizar esta animación se emplearon 24 fotogramas; siguiendo los mismos conceptos que en la caminata se tienen cinco posiciones claves: contacto, baja, pose media, sube y contacto.

En la posición de sube, es cuando ninguno de los dos pies toca el suelo y la cabeza del personaje está más arriba que en las demás posiciones. A diferencia de la caminata, durante la pose media se puede ver que la figura baja y la pierna de apoyo sirve de amortiguador. Los fotogramas clave para el primer paso se observan en la Figura 85.



Figura 85. Ciclo correr del guerrero.

#### 4.2.7.4 Saltar

El salto es un ejemplo de cómo el cuerpo puede almacenar energía doblando y moviendo sus articulaciones hasta sus extremos. La animación consta de dos estados, cuando el personaje se impulsa para dar el salto y cuando queda suspendido en el aire; con un total de 38 fotogramas. El personaje primero se agacha anticipando el salto, después se eleva manteniéndose ligeramente en el aire. En la Figura 86 se observan los fotogramas clave de la animación.



Figura 86. Animación de impulso para saltar del guerrero.

La animación en la que el personaje queda suspendido en el aire consta de 20 fotogramas y solamente hay un ligero movimiento en los pies y manos del personaje, los cuáles se mueven hacia un lado y hacia abajo. En la Figura 87 se observan los fotogramas clave de la animación.



Figura 87. Animación de suspensión en el aire del guerrero.

## **4.3 Personaje 2: Jaguar**

A continuación, se describe el desarrollo del segundo personaje, siguiendo el mismo proceso que en el guerrero.

### **4.3.1 Definición del concepto**

Uno de los animales presentes en la vida cotidiana y en la cosmovisión zapoteca fue el jaguar; en general de los más reverenciados en Mesoamérica. Para los zapotecas era símbolo de poder y del dominio, se le vinculaba con el linaje de los gobernantes, la guerra, la fertilidad, la noche y el inframundo. Aparece representado con mucha frecuencia en Monte Albán, que también era llamada por los mexicas como “cerro del jaguar”. Debido a la importancia que tenía este animal, se optó por realizar un jaguar como segundo personaje, previsto también para una experiencia en tercera persona.

El jaguar es un felino de cuerpo robusto con las patas cortas y gruesas; su cabeza es ancha con pómulos prominentes y la mandíbula cuadrada. Sus orejas son redondas y pequeñas; su cola termina en punta y mide aproximadamente una tercera parte del largo total. Su pelaje es de color amarillo claro a rojizo en el dorso y costados, y de color blanco en el vientre y parte interna de las patas. Las manchas son más sólidas y negras en la cabeza, el cuello y las patas, volviéndose más grandes en forma de roseta a lo largo de la parte lateral y posterior del cuerpo. Tiene antebrazos y hombros musculosos, lo que le da la fuerza para capturar a su presa; las patas traseras son más largas que las delanteras para mejorar el salto y la piel de su vientre es elástica.

Al igual que en el guerrero, el trasfondo del jaguar tampoco será tan detallado, por lo que solo se define la situación presente y futura, así como los aspectos relevantes de su comportamiento y habilidades, los cuáles se presentan en la Tabla 3.

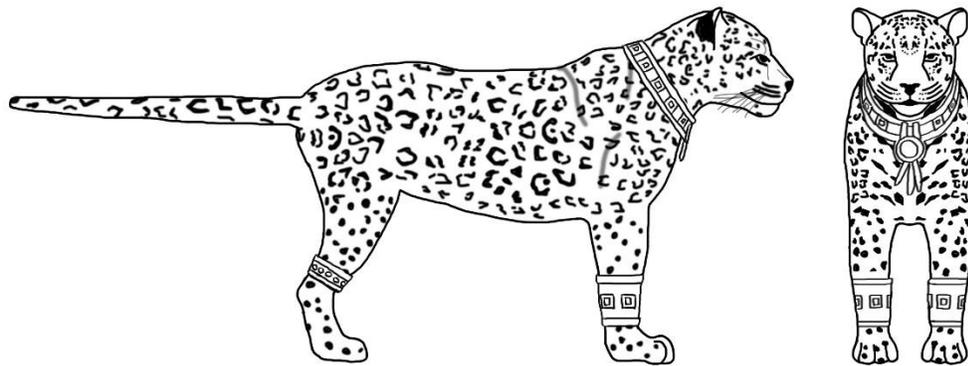
**Tabla 3. Trasfondo del jaguar.**

PRESENTE	FUTURO
El jaguar se encuentra en la zona arqueológica de Monte Albán en espera de que el usuario comience el recorrido.	Deberá desplazarse por el sitio como el usuario le indique, ya sea caminando o corriendo, si es necesario podrá dar un salto.
PERSONALIDAD	
Tiene un comportamiento dominante, es misterioso y meticulado.	

En las figuras zapotecas el jaguar aparece frecuentemente representado con atavíos, por lo que al modelo se le han incluido accesorios, tales como pulseras de oro con incrustaciones de jade, al igual que un collar de oro adornado con plumas.

#### 4.3.2 Sketch art

De acuerdo con el concepto generado, en la Figura 88 se presenta la hoja modelo del jaguar, donde se muestran las proporciones a través de la vista frontal y lateral, así como los accesorios que porta.



**Figura 88. Hoja modelo en blanco y negro del jaguar.**

Posteriormente se dio color al personaje, incluyendo los colores representativos de los materiales para los accesorios (Figura 89), obteniendo así una vista previa de cómo luce y una guía para el modelado 3D.

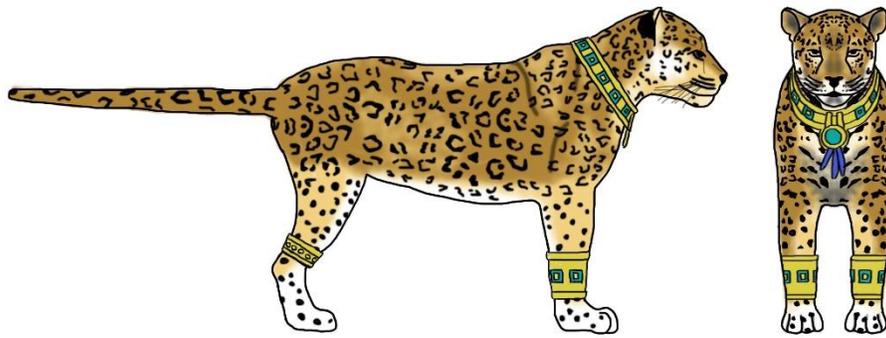


Figura 89. Hoja modelo en color del jaguar.

### 4.3.3 Modelado 3D

El siguiente paso fue el modelado 3D del personaje, para lo cual se siguió el mismo flujo de trabajo que en el guerrero, primeramente, la creación de la malla en alta resolución con todos los detalles de geometría y de color; y enseguida la retopología para la obtención de un modelo de baja resolución.

#### 4.3.3.1 Creación de la malla en alta resolución (Topología)

Una de las herramientas útiles para esculpir en ZBrush son las *Zspheres*, que son esferas que se utilizan a modo de articulaciones unidas entre sí, y que, una vez creada la forma principal, éstas se convierten en polígonos de mayor o menor resolución. Para el modelado del jaguar se comenzó con una base hecha con *Zspheres* (Figura 90) a partir de fotografías en vista lateral y frontal del animal para una mejor proporción. Posteriormente se convirtió en polígonos y se aumentaron los niveles de subdivisión.



Figura 90. Modelo base para el jaguar.

El modelo base se fue esculpindo mediante los pinceles básicos de ZBrush, comenzando por la cabeza, el cuerpo y las patas, teniendo en cuenta la anatomía del jaguar, y trabajando en simetría. En la Figura 91 se aprecia el modelo terminado en vista lateral y frontal.



**Figura 91. Esculpido del cuerpo del personaje**

Para el modelado de las pulseras y el collar se utilizó la herramienta *Extract*, enmascarando un área del cuerpo para después realizar la extrusión y formar un nuevo objeto. Se utilizaron formas primitivas como cilindros y planos para el colgante y las plumas, otros detalles fueron realizados con el pincel *Standard*. En la Figura 92 se observa el modelado final de los accesorios.



**Figura 92. Modelado de pulseras y collar.**

En la Figura 93 se presenta el modelo 3D en alta resolución del jaguar, donde se aprecian cada una de las partes que lo conforman a través de su vista frontal y lateral. La malla está compuesta de 24 millones de polígonos, lo que permitió lograr todos los detalles.



Figura 93. Modelado final del jaguar.

#### 4.3.4 Texturizado

Para el texturizado del cuerpo del jaguar se utilizó como base el material *MatCap White01* y se creó la textura mediante la proyección y uso de referencias fotográficas, a través de la herramienta *SpotLight* de ZBrush. Para esto se pintó directamente sobre el modelo ajustando la textura al tamaño adecuado, como se observa en la Figura 94.

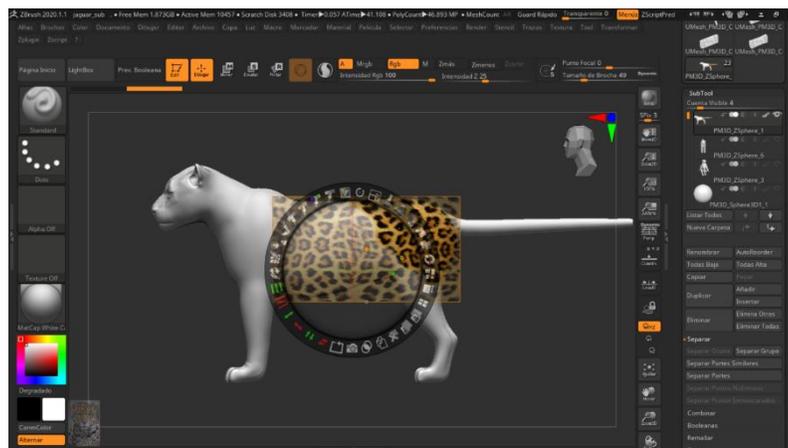


Figura 94. Uso de *SpotLight* para el texturizado.

En la cara del jaguar se utilizó una fotografía y se pintó directamente sobre el modelo, se realizaron algunos ajustes en la textura mediante las herramientas del *SpotLight* para hacer coincidir los ojos y la nariz, como se observa en la Figura 95.

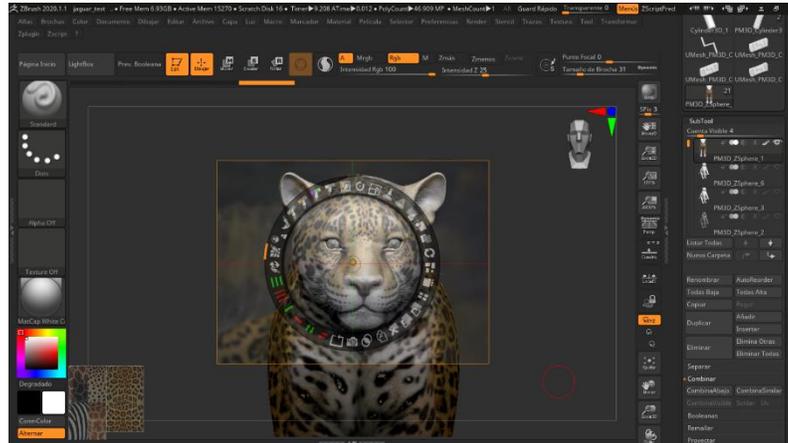


Figura 95. Texturizado en la cara del jaguar.

Mediante el uso de diferentes referencias fotográficas se pudo dar textura al modelo. En los accesorios se utilizó el material *gv\_worn\_gold* en color amarillo para las partes en oro y el material *RefractedPlasticB* en tonos verde, azul y gris para las piedras de jade, las plumas se pintaron de color azul. En la Figura 96 se observa el jaguar completamente texturizado.



Figura 96. Texturizado del Jaguar.

#### 4.3.4.1 Creación de la malla en baja resolución (Retopología)

Para la creación del modelo en baja resolución se realizó la retopología de la malla mediante *Zremesher*, para ello se trazaron algunas líneas guía y se llevó a cabo el proceso automático ajustando la carga poligonal. En la Figura 97 se observa a la izquierda el trazo de líneas en la cara del jaguar mediante *ZremesherGuides* y a la derecha el resultado de la retopología.

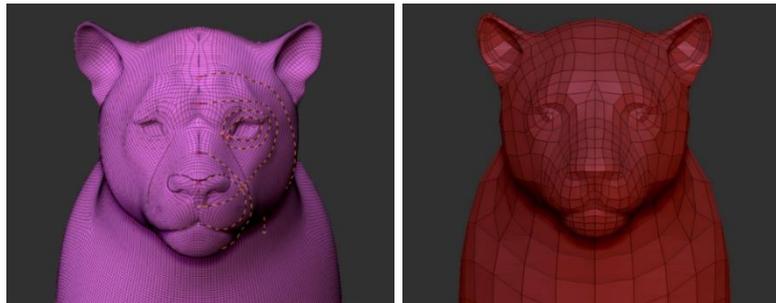


Figura 97. Líneas guía y retopología en la cara del jaguar.

Posteriormente, fue necesario hacer un ajuste manual mediante la herramienta *Zmodeler* hasta conseguir una disposición correcta de la malla con la menor cantidad de polígonos. Este mismo proceso se realizó en los accesorios y posteriormente se realizó la proyección para transferir los detalles de color y geometría del modelo en alta al de baja resolución. En la Figura 98 se presenta una comparativa, a la izquierda la malla en alta resolución compuesta de 24 millones de polígonos y a la derecha la malla en baja resolución, la cual conserva los mismos detalles, pero con solo 3880 polígonos.



Figura 98. Comparativa malla *high poly* vs malla *low poly* del jaguar.

### 4.3.5 Mapeado UV

Una vez definidos los *polygroups* en la malla del jaguar, se utilizó UV Máster para definir los cortes en la geometría. Utilizando la opción *AtraerDesdeOA* de la herramienta *Activar pintura de control* se generaron los cortes de manera automática procurando lugares menos visibles. Las costuras finales en el cuerpo del personaje se observan a la izquierda de la Figura 99 y a la derecha la distribución de los UVs desplegados.

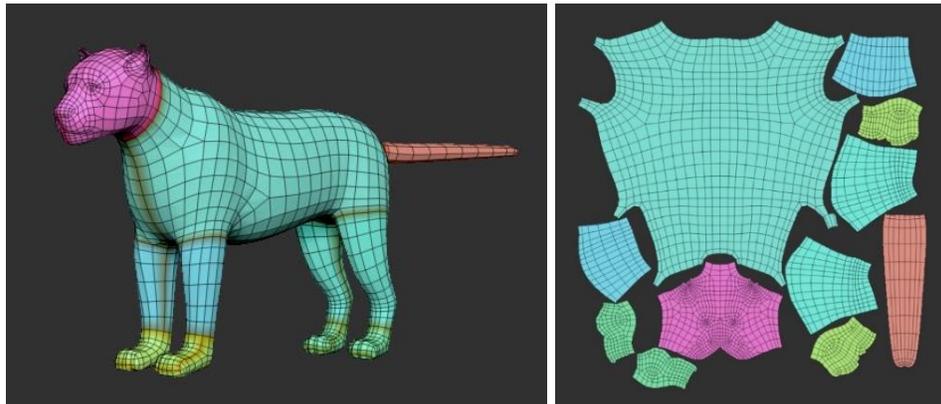


Figura 99. Costuras finales y distribución de UVs.

Este proceso se realizó también con los accesorios del personaje; enseguida se copiaron los UVs generados y se pegaron sobre el modelo de baja resolución considerando que se trabajó sobre un clon.

#### 4.3.5.1 Mapas de textura

Se crearon los mapas de textura mediante el *Exportador Multi Mapa* de ZBrush, utilizando las mismas de 2040 x 2048 píxeles. Mediante esta herramienta se obtuvo el mapa difuso, normal y de desplazamiento, también se exportó la malla del modelo 3D en formato .OBJ para su manipulación en 3dsMax. El mismo proceso se siguió tanto para el cuerpo como para los accesorios del personaje. En la Figura 100 se observan los mapas obtenidos para el cuerpo del jaguar.

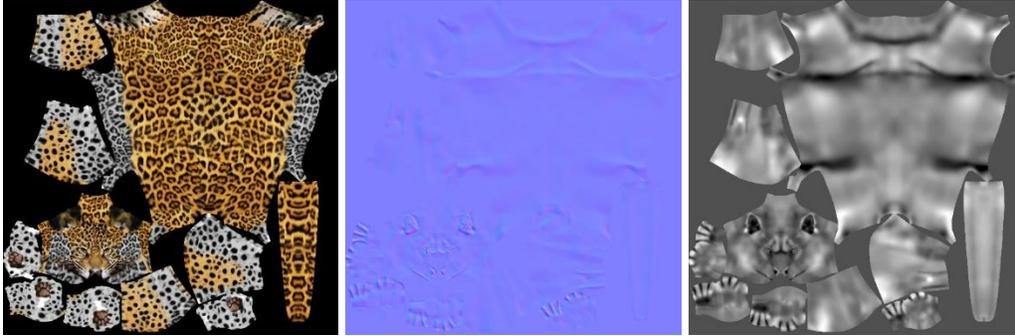


Figura 100. Mapa difuso, mapa normal y mapa de desplazamiento.

### 4.3.6 Rigging

Para el *Rigging* del jaguar se utilizó también el *biped* disponible en 3DsMax el cual se adaptó a la forma y tamaño del modelo; en este caso, se añadieron huesos en el cuello y las patas, así como los huesos de la cola, como se observa en la Figura 101.

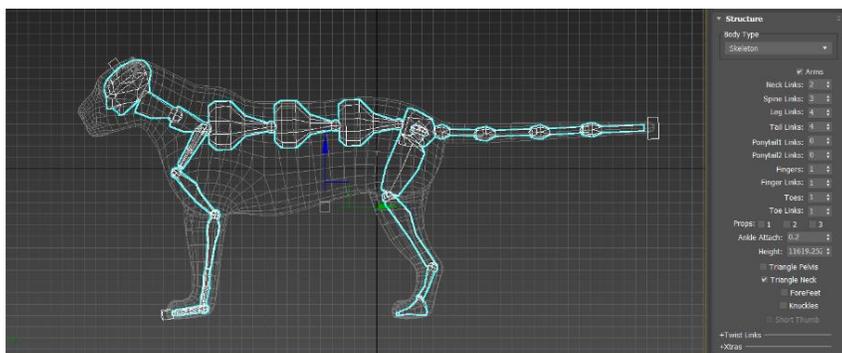


Figura 101. Creación del esqueleto para el jaguar.

Una vez definida la posición de los huesos se utilizó el modificador *Skyn* para vincular el esqueleto a la geometría, dado que el personaje presenta partes independientes, se usó este modificador para cada una de ellas. Enseguida se realizó el *Skinning*, indicando el grado de influencia de los envoltentes generados hacia los vértices, ya que en algunos casos no era el correcto. En el cuerpo del jaguar se utilizó la herramienta *Weight tool* para realizar el cálculo del tamaño de los envoltentes de manera automática. En la Figura 102 se observan los vértices que indican la movilidad en la pata delantera, los de color rojo indican una mayor movilidad, los de amarillo una mediana movilidad y los de azul de muy poca o casi nula.

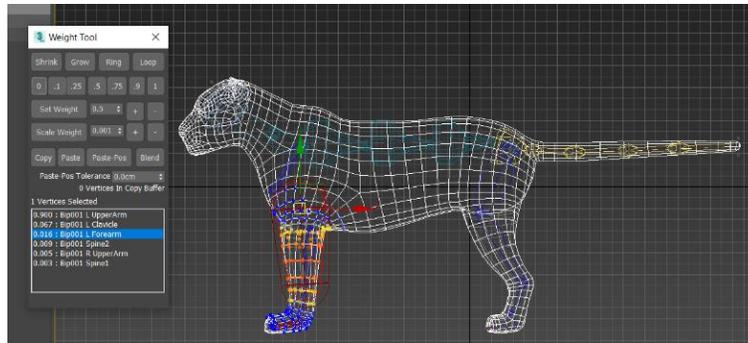


Figura 102. Áreas de movilidad en la pata del jaguar.

### 4.3.7 Animación

Para la animación del jaguar también utilizó la técnica de fotogramas clave y se realizaron animaciones para el estado inmóvil, caminar, correr y saltar, el proceso se detalla a continuación.

#### 4.3.7.1 Inmóvil

El personaje se encuentra relajado, la animación se compone de dos estados: la respiración y el movimiento de la cabeza y la cola, con un total de 180 fotogramas. Para la respiración se crearon las posiciones clave cada 45 fotogramas en los que inhala y exhala. Teniendo fijas las cuatro patas mediante la opción *Set Planted Key*, al momento de inhalar se realiza un movimiento vertical que origina la elevación de la cadera, del torso y las patas, caso contrario para la exhalación, donde las patas se flexionan y el cuerpo baja. Los fotogramas clave de la animación se observan en la Figura 103.

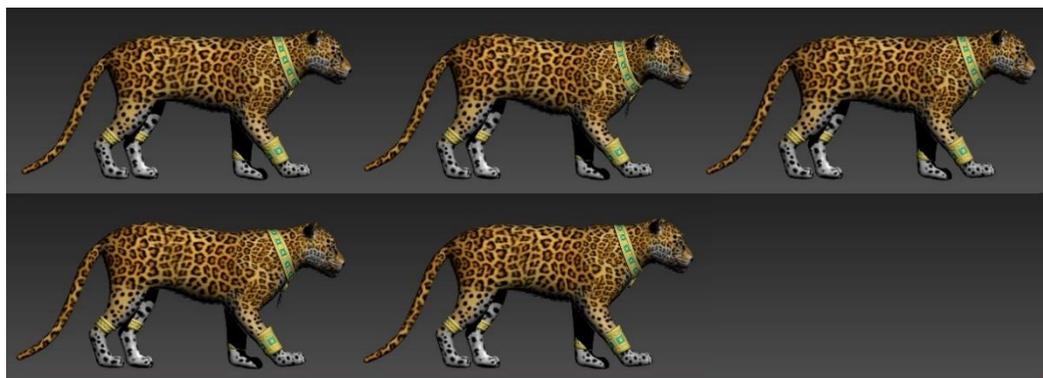


Figura 103. Ciclo de la animación inmóvil del jaguar.

El movimiento de la cabeza parte de la pose inicial hacia la izquierda en el fotograma 45 y hacia la derecha en el fotograma 100, para después regresar a la pose original nuevamente. En la Figura 104 se observan los fotogramas clave y en donde se observa también el movimiento de la cola, el cual se realiza cada 20 fotogramas.



Figura 104. Fotogramas clave del movimiento de la cabeza.

#### 4.3.7.2 Caminar

El patrón de caminar de un cuadrúpedo no es tan sencillo como parece, el movimiento de las extremidades del jaguar se realiza acercando las patas que están en primer plano y alejando las que están en segundo plano y viceversa. Es decir, cuando la pata trasera en primer plano se acerca a la delantera, los miembros del segundo plano están muy separados. Cuando la extremidad delantera de primer plano avanza, también lo hace la pata trasera en segundo plano. Para esta animación se utilizaron 24 fotogramas, las posiciones clave para el primer paso se aprecian en la Figura 105.

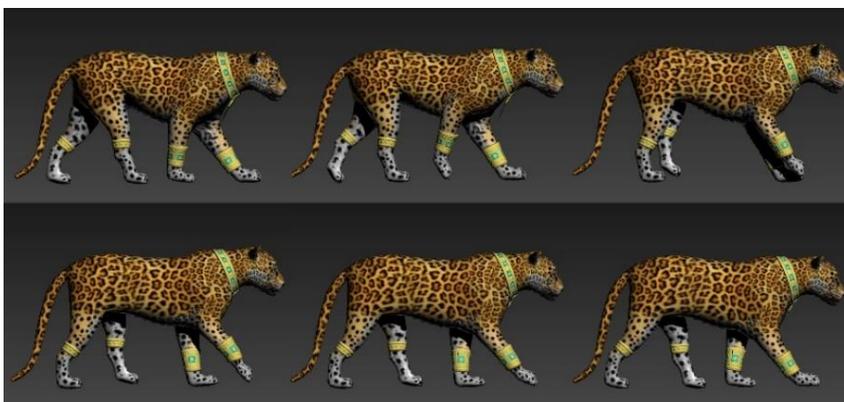


Figura 105. Ciclo caminar del jaguar.

#### 4.3.7.3 Correr

El patrón de correr de un cuadrúpedo cambia por completo, en este caso, las patas delanteras y traseras se alejan y se acercan prácticamente a la vez, es decir, en ningún momento las cuatro patas tocan el suelo al mismo tiempo. La animación consta de 10 fotogramas y las posiciones clave se observan en la Figura 106.

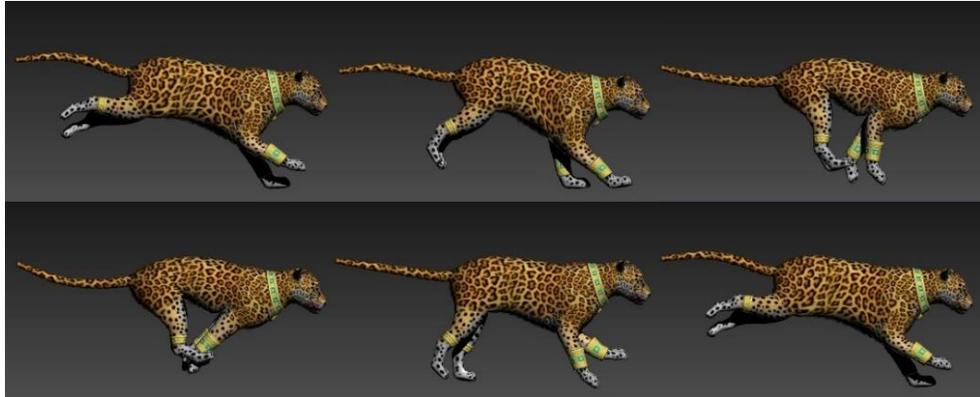


Figura 106. Ciclo correr del jaguar.

#### 4.3.7.4 Saltar

Esta animación consta de 18 fotogramas y se compone de dos estados: cuando el personaje se impulsa para dar el salto y cuando queda suspendido en el aire. El personaje primero se agacha anticipando el salto y desplaza el peso del cuerpo sobre las patas traseras que utilizará para después dar el empuje del lanzamiento y quedar en el aire. En la animación de suspensión en el aire solo se realizaron ligeros movimientos en las patas en el último fotograma del impulso del salto. En la Figura 107 se observa el ciclo del salto.

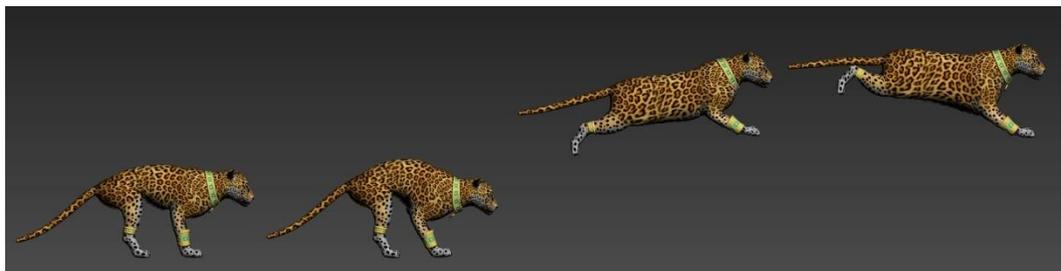


Figura 107. Ciclo saltar del jaguar.

## 5. Resultados

**E**n este capítulo se realiza la exportación de los modelos y animaciones al motor gráfico de Unity, con la finalidad de verificar que las características finales del personaje resultan apropiadas para su uso en este tipo de entornos, en particular se verifica que la estructura ósea del personaje coincida con la estructura ósea predefinida de Unity y que cada una de las animaciones realice los bucles apropiados, también que las texturas sean importadas y optimizadas correctamente y que la cantidad de polígonos en los modelos permitan procesarlos ágilmente. Para lograr lo anterior, se creó un entorno virtual 3D y dentro de éste se configuraron diversas características del personaje, además de la creación de scripts que permiten la interacción del usuario mediante el teclado.

### 5.1 Implementación de los personajes en Unity

El primer personaje que se implementó fue el guerrero, y básicamente sirvió como modelo de referencia para el segundo personaje, el jaguar. El procedimiento para ambos fue muy similar, por lo que a continuación se describe el proceso general.

Primero, se importó el modelo 3D del personaje en un nuevo proyecto de Unity, en el caso del guerrero, la lanza se importó de manera independiente; se adjuntaron las animaciones y la carpeta con los mapas de textura. También se agregó un objeto de terreno a la escena, inicialmente un plano grande y plano.

Enseguida, se especificó el tipo de *rig* para el personaje, eligiendo el tipo humanoide para el guerrero y la categoría genérica para el jaguar, debido a su estructura ósea. Mediante la creación automática, el programa verifica que la estructura ósea del personaje coincida con la estructura ósea predefinida de Unity y que el modelo esté en una pose T. En principio, el *rig* del guerrero no fue reconocido, por lo que se tuvieron que hacer algunas modificaciones directamente en el archivo origen de 3dsmax y después repetir el proceso. Una vez que la creación automática se realizó con éxito, se

pudo apreciar una señal de verificación, como se observa a la izquierda de la Figura 108 junto a la opción *configure*, lo cual indica que todos los huesos fueron apareados y un avatar *sub-asset* fue agregado al *asset* del modelo, como se aprecia a la derecha de la misma figura.

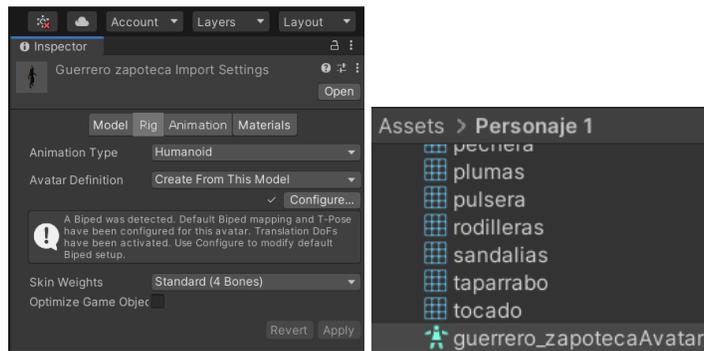


Figura 108. Configuración del *rig* y avatar agregado como sub-asset.

En cuanto a los clips de animación, éstos representan una pieza de movimiento aislada que se pueden manipular y combinar para producir animaciones finales. Es importante que cada una de las animaciones haga los bucles apropiados; por ejemplo, en el ciclo de caminar, que comience y termine en una pose similar. Por lo que se verificó mediante las herramientas de Unity, que cada una de las animaciones realizara los bucles de manera correcta. Los clips de animación pueden hacer un bucle basándose en la pose, rotación y posición; el indicador *loop match* muestra con puntos verdes que tan apropiado es el bucle para los rangos seleccionados, como se observa en la imagen 109, una variación de color será índice de error.

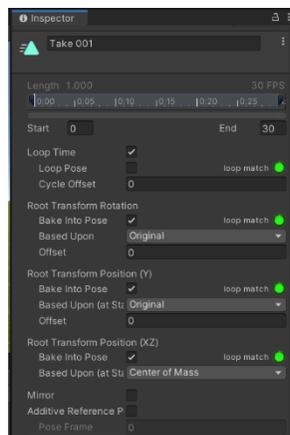


Figura 109. Bucle de animación apropiados.

Posteriormente, se incorporó el personaje a la escena de Unity, sin embargo, las texturas no fueron reconocidas automáticamente, por lo que fueron seleccionadas de forma manual, eligiendo un *Shader Standard* para la mayoría de las partes del modelo y se importó el *asset Shader StandardDoubleSide* para poder apreciar ambos lados del taparrabo y tela del tocado.

Se agregaron dos componentes al personaje: *Rigidbody* y *Capsule collider*. El primero, le permite actuar bajo el control del motor de física de Unity para ser influenciado por la gravedad; el segundo crea una cápsula que se ajusta a sus dimensiones y sirve para detectar las colisiones entre los diferentes objetos de la escena. En la Figura 110 se observa a la izquierda la cápsula creada en el personaje y a la derecha las especificaciones de los componentes.

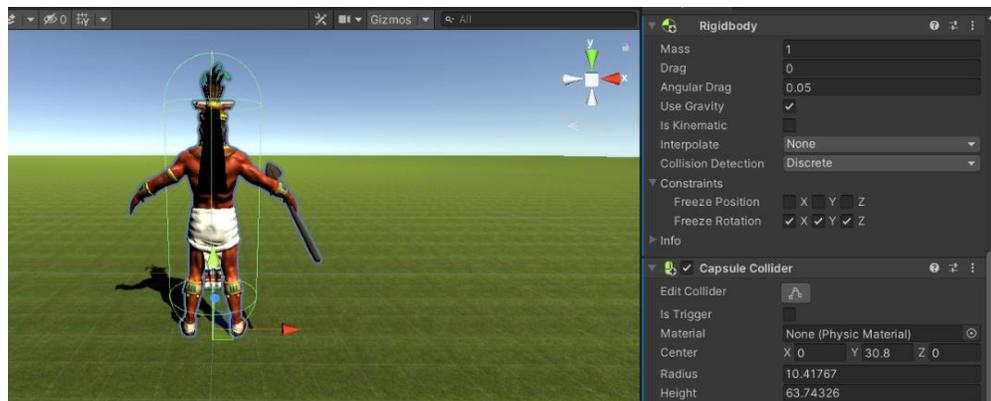


Figura 110. Componentes asignados al personaje.

El siguiente paso fue crear el script que permite controlar la dirección y el movimiento del personaje a través de las flechas del teclado. Primeramente, se definieron las variables, dos de tipo float (*velocidadMovimiento* y *velocidadRotacion*) para poder variar la velocidad de movimiento y de rotación del personaje y a las que se les asignaron valores iniciales de 5.0f y 200.0f respectivamente; otra variable tipo animator (*anim*) para obtener posteriormente el componente animator del personaje, y dos variables más de tipo float (*x* y *y*) para almacenar los movimientos del personaje sobre los ejes X y Y. A continuación, se presenta esa parte del código.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class LogicaPersonaje1 : MonoBehaviour
{
    public float velocidadMovimiento = 5.0f;
    public float velocidadRotacion = 200.0f;
    private Animator anim;
    public float x, y;
}

```

Dentro de la función void Start(), la cual se ejecuta solo una vez al principio del script, se asigna a la variable *anim* las propiedades del *animator*, mediante las siguientes líneas de código.

```

// Start is called before the first frame update
void Start()
{
    anim = GetComponent<Animator>();
}

```

La función Update() se ejecuta cada fotograma y es donde se codifica la mayor parte de la lógica de los personajes. Se utilizó la función Input.GetAxis("Horizontal") para mover al personaje sobre el eje X. Esta función devuelve valores de -1 y 1 al pulsar la tecla izquierda y la tecla derecha respectivamente; si no se presiona ninguna de éstas, el valor es 0. Al guardar esos valores en la variable *x*, se puede posteriormente controlar el movimiento del personaje. Lo mismo se realizó para el eje vertical, con las flechas arriba o abajo del teclado, guardando los valores en la variable *y*.

Los valores de *x* y *y* se multiplican por Time.deltaTime y por la velocidad de rotación y de movimiento respectivamente y son asignados a los componentes transform.Rotate para rotar la posición en el eje Y, y transform.Translate para modificar la posición en el eje Z. Time.deltaTime se utiliza para despreciar las diferencias entre las velocidades que pueden proporcionar las diferentes máquinas en las que se ejecute la aplicación. A continuación, se presenta el código.

```

// Update is called once per frame
void Update()
{
    x = Input.GetAxis("Horizontal");
    y = Input.GetAxis("Vertical");
}

```

```

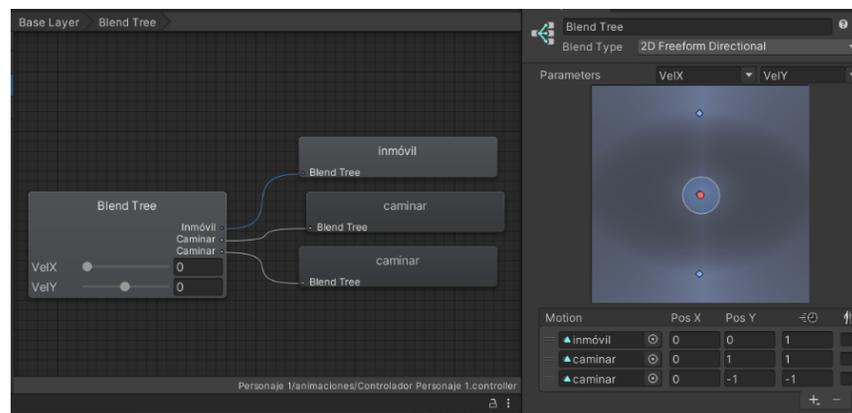
transform.Rotate(0, x * Time.deltaTime * velocidadRotacion, 0);
transform.Translate(0, 0, y * Time.deltaTime * velocidadMovimiento);

anim.SetFloat("VelX", x);
anim.SetFloat("VelY", y);
}

```

Una vez que se le ha asignado movimiento al personaje, lo siguiente fue incluir las animaciones. Para esto, se creó un *animator controller*, éste controla la lógica del personaje animado y se compone de estados vinculados por transiciones. Los estados son la representación de los clips de animación y las transiciones dirigen el flujo de una animación de un estado a otro mediante flechas.

Es común en la animación realizar una mezcla entre dos o más movimientos, por lo que dentro del *animator* se creó un árbol de combinación (*Blend tree*) que permitió alternar entre las animaciones de inmóvil y caminar. Cuando el *Blend tree* se configura con los clips de animación y parámetros de entrada, se muestra en la ventana del inspector una visualización gráfica de cómo se combinan las animaciones, a medida que cambia el valor del parámetro. En la Figura 111 se observa a la izquierda el nodo raíz del *Blend tree* con tres clips de animación como nodos secundarios y a la derecha la configuración para los clips de animación.



**Figura 111. Blend tree y configuración de los clips de animación.**

Para que el personaje realice la acción correr, se agregó un nuevo estado en el *animator* y un parámetro de tipo booleano llamado *correr*. La transición va de *Any state* hacia el estado *correr*, y esta animación se ejecutará si la condición de transición se cumple

(`correr==true`). Para pasar de la animación correr hacia la posición inicial, se incorporó una transición del estado `correr` hacia el *Blend tree*, y esto ocurrirá si la condición de transición se cumple (`correr==false`). En la Figura 112 se observa el parámetro agregado y el gráfico del *animator* con el estado y las transiciones marcadas en azul.

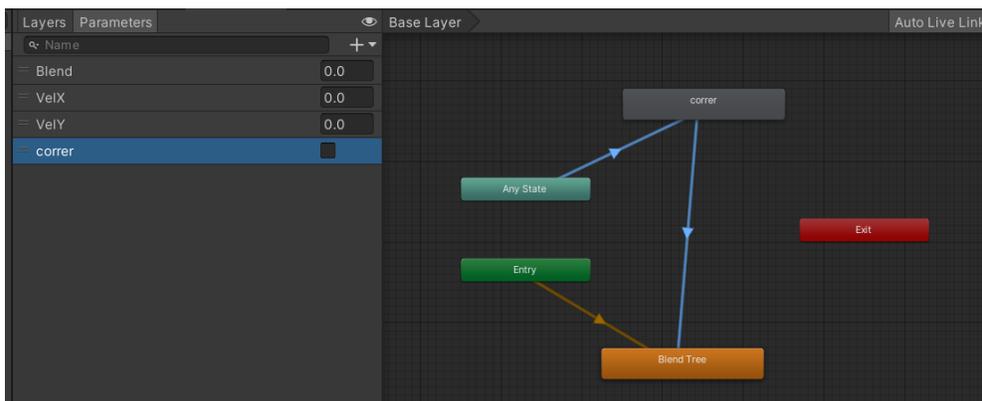


Figura 112. *Animator* que incluye la animación correr.

Enseguida se procedió a incorporar las líneas de código dentro del script para iniciar la acción correr del personaje, en función de las teclas pulsadas por el usuario. Se definió una nueva variable tipo float llamada `velCorrer` con un valor inicial de 50.0f, evidentemente, esta velocidad es mayor a la velocidad normal de movimiento del personaje (5.0f). Para que el personaje corra es necesario que el usuario presione la tecla shift y que el personaje este en movimiento (`y != 0`), lo anterior produce por una parte, que la velocidad de movimiento se incremente y por la otra, que el parámetro booleano `correr` se vuelva verdadero; con esto último, el controlador de animación puede realizar la transición de su estado actual a la animación correr. En caso contrario el personaje simplemente mantiene su velocidad normal de movimiento y la animación actual. El código generado es el siguiente.

```

if (Input.GetKey(KeyCode.LeftShift))
{
    velocidadMovimiento = velCorrer;
    if (y != 0)
    {
        anim.SetBool("correr", true);
    }
    else
    {
        anim.SetBool("correr", false);
    }
}

```

```
    }  
  }  
  else  
  {  
    anim.SetBool("correr", false);  
    velocidadMovimiento = velocidadInicial;  
  }  
}
```

Por último, se agregó la acción saltar, que consta de dos animaciones: cuando el personaje se despegó del suelo para dar el salto y cuando está en el aire, ésta última se repetirá mientras no se detecte que hay algo debajo del personaje (el suelo u otro objeto) y significa que el personaje está cayendo o saltando.

Se agregaron dos nuevos estados en el controlador: *saltar* y *enelair* y se crearon dos parámetros de tipo booleano: *saltar* y *tocosuelo*. La acción saltar, puede generarse cuando el personaje está realizando los movimientos básicos o en reposo, por lo que se agregó una transición desde el *Blend tree* hacia el estado saltar condicionado por el parámetro *saltar==true*, una vez iniciado el salto el personaje incondicionalmente debe tomar la animación en el aire, por lo que se agrega una transición incondicional del estado *saltar* al estado *enelair*.

Para pasar de la animación en el aire hacia la animación inicial se colocó otra transición del estado *enelair* hacia el *Blend tree* y ocurrirá si la condición de transición se cumple (*tocosuelo==true*). También se agregó otra transición a la inversa, es decir, del *Blend tree* hacia el estado *enelair* para cuando el personaje no detecta nada por debajo de los pies, lo que significa que está cayendo y pasaría de la animación inicial a la de estar en el aire si la condición de transición se cumple (*tocosuelo==false*). En la Figura 113 se observan los parámetros agregados y el gráfico del *animator* con los estados y las transiciones marcadas en azul.

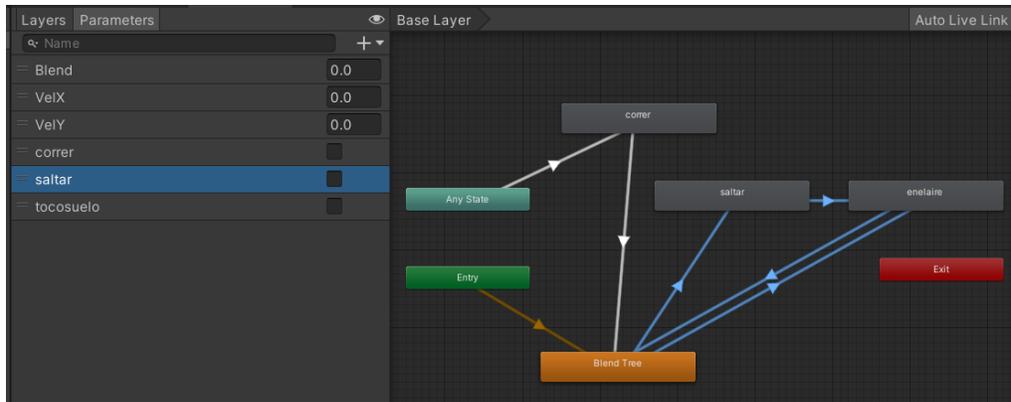


Figura 113. Animator que incluye la animación saltar.

Dentro del script se agregaron nuevas variables públicas: la variable *rb* del tipo *rigidbody*, la variable de tipo float *fuerzaDeSalto* para variar la fuerza de salto inicializada con el valor 8.0f y la variable de tipo booleana *puedoSaltar*. En la función void *Start()* se define la variable para comprobar que el personaje puede saltar. Esto se presenta en el siguiente código.

```
public Rigidbody rb;
public float fuerzaDeSalto = 8.0f;
public bool puedoSaltar;

// Start is called before the first frame update
void Start()
{
    anim = GetComponent<Animator>();
    puedoSaltar = false;
}
```

La condición que se debe cumplir para que el personaje pueda dar el salto es que éste pueda saltar, es decir, que los pies del personaje toquen una superficie sólida y que además el usuario haya presionado la barra espaciadora, entonces el parámetro *saltar* se vuelve verdadero y se agrega una fuerza de salto al *rigidbody* con valor en el eje Y, y una fuerza de impulso en el eje vertical. Después el parámetro *tocosuelo* se vuelve verdadero y el personaje regresará al *Blend Tree*.

En caso contrario, se llamará a la función *EstoyCayendo()*, donde los parámetros *tocosuelo* y *saltar* se vuelven falsos. Es decir, si el personaje no puede saltar significa que

está cayendo. El personaje solo podrá saltar cuando esté en contacto con el suelo u otro objeto. Las líneas de código se presentan a continuación:

```
if (puedoSaltar)
{
    if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space))
    {
        anim.SetBool("saltar", true);
        rb.AddForce(new Vector3(0, fuerzaDeSalto, 0), ForceMode.Impulse);
    }
    anim.SetBool("tocosuelo", true);
}
else
{
    EstoyCayendo();
}

public void EstoyCayendo()
{
    anim.SetBool("tocosuelo", false);
    anim.SetBool("saltar", false);
}
```

Para que se pueda detectar si el personaje está tocando el suelo, se creó un nuevo script para los pies. Dentro de la función Update() se creó otra función que indica que si el personaje está en contacto con el suelo entonces la variable *puedoSaltar* es verdadera, de lo contrario si no está tocando nada, se vuelve falsa, debido a que ya se encuentra en el aire o está cayendo. A continuación, se presentan las líneas de código para dicha función.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ScriptPies : MonoBehaviour
{
    public ScriptPersonaje1 scriptPersonaje1;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {

    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {

    }

    private void OnTriggerStay(Collider other)
    {
        scriptPersonaje1.puedoSaltar=true;
    }
}
```

```
}  
private void OnTriggerExit(Collider other)  
{  
    scriptPersonaje1.puedoSaltar=false;  
}  
}
```

Posteriormente, se creó un nuevo objeto vacío llamado Pies, al que se le agregó el componente *Capsulle collider* (Figura 114) y se ajustó a las dimensiones de los pies del modelo, debido a que solo esta parte hará contacto con el suelo. Teniendo esto solo se asignó el script y se colocó dentro de la jerarquía del personaje.

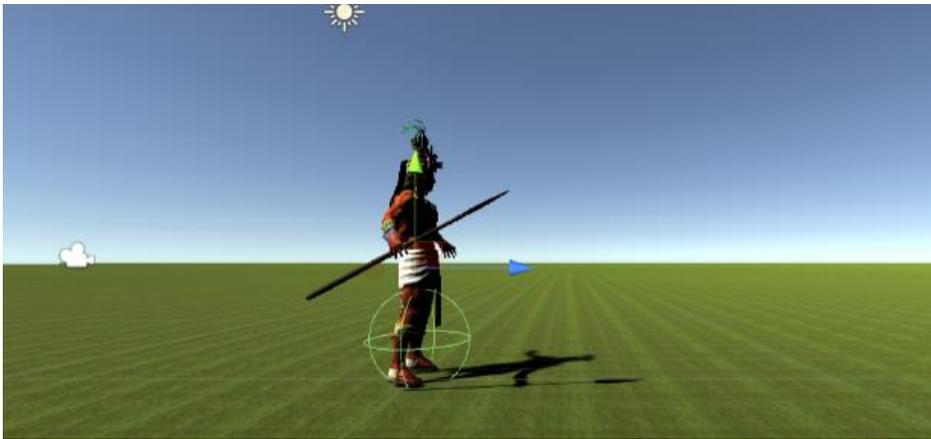


Figura 114. *Capsulle collider* en los pies del guerrero.

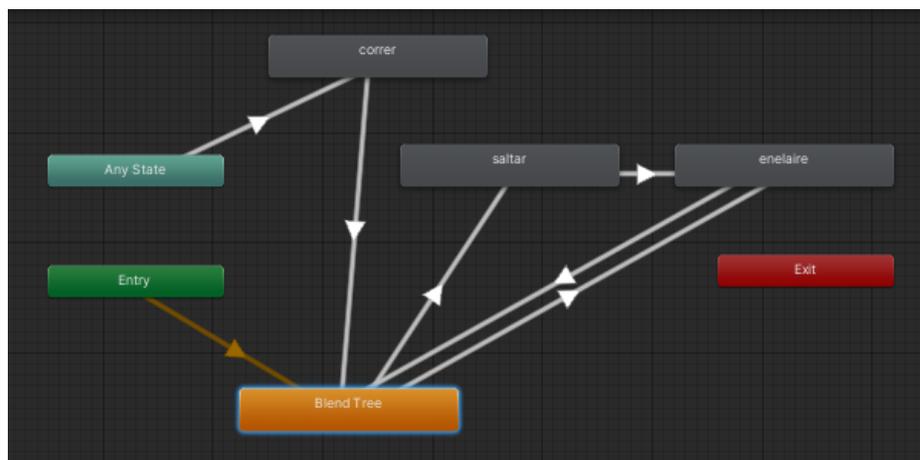
## 5.2. Pruebas

Después de culminar la implementación de los personajes en Unity, se verificó que todo el proceso se haya completado correctamente, en caso contrario, dar solución a los problemas presentados. Para este caso, se realizó una prueba de movimiento en ambos personajes.

### 5.2.1 Prueba de movimiento

En esta prueba se verificó que los personajes respondieran adecuadamente al control del usuario. Se probaron las secuencias de movimiento de cada una de las acciones y se encontraron dos situaciones que a continuación se describen.

1. En ambos personajes se detectó que, al realizar la animación correr y enseguida realizar un salto mediante la barra espaciadora, el personaje seguía corriendo mientras se mantenía en el aire, esto debido a que, en el controlador el estado correr puede accederse desde cualquier estado, incluso cuando el personaje está saltando, simplemente al cumplir la condición (`correr==true`). En la Figura 115 se muestra el *animator* del guerrero, donde se observa una transición de *Any state* hacia el estado *correr*, lo que significa que el personaje puede pasar a la animación correr independientemente del estado en el que se encuentre.



**Figura 115. Animator del guerrero.**

2. Al hacer un cambio de dirección en los personajes, se observó que éstos lo hacían de una manera muy rígida, debido a que no se incluyó una animación para dar la vuelta. Por lo que para tener una mayor fluidez en el giro es necesario incluir esta animación en el *Blend tree* del *animator* de cada personaje.

### 5.3. Depuración

En el apartado anterior se describieron los problemas obtenidos mediante pruebas de movimiento en los personajes, en este apartado se detallan las modificaciones realizadas para la solución a las situaciones detectadas.

### 5.3.1 Problema de animación correr del guerrero

Para corregir el problema de que el estado *correr* puede accederse desde cualquier estado, se eliminó la transición de *Any state* hacia el estado *correr*. Quedando restringido solamente a que el estado *correr* pueda accederse desde el *Blend tree* y se cumpla la condición ( $\text{correr}==\text{true}$ ). Por lo que, la transición de *Blend tree* hacia el estado *correr* se mantiene y se agrega una transición opuesta, al igual que una condición para cuando esto no se cumpla ( $\text{correr}==\text{false}$ ).

También se agregó una transición del estado *correr* hacia el estado *saltar*, para que el personaje pueda pasar de la animación correr a la animación saltar, en el momento en el que la condición de transición se cumpla ( $\text{saltar}==\text{true}$ ). En la Figura 116 se presenta el gráfico final del *animator* del guerrero después de realizar los cambios.

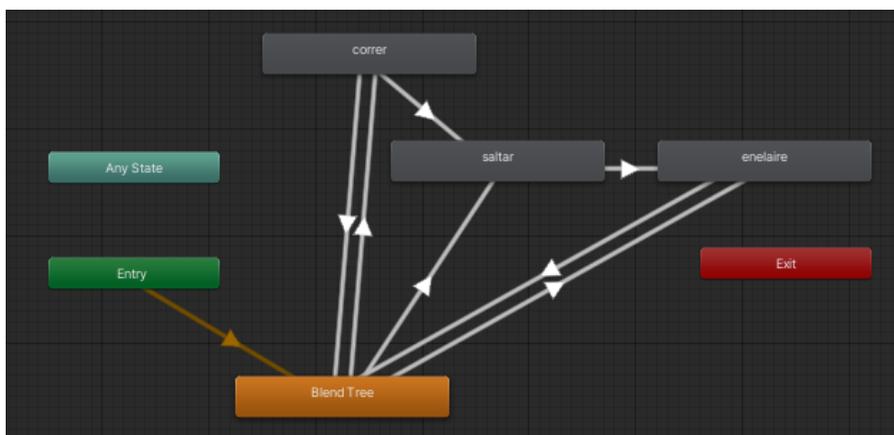


Figura 116. *Animator* final del guerrero.

### 5.3.2 Problema de animación correr del jaguar

En el *animator* del jaguar, también se eliminó la transición de *Any state* hacia el estado *correr* para evitar que éste estado pueda accederse desde cualquier otro estado. De igual forma, la transición de *Blend tree* hacia el estado *correr* se mantiene y se agregó la transición del estado *correr* hacia el estado *saltar* con las mismas condiciones de transición que en el *animator* del guerrero.

En este caso, se eliminó la transición de *Blend tree* hacia el estado *saltar*, debido a que se limitó que el estado *saltar* pueda accederse únicamente desde el estado *correr*, es decir, la animación saltar solo podrá realizarse después de la animación correr, en el momento en que la condición se cumpla ( $\text{saltar} == \text{true}$ ). En la Figura 117 se presenta el *animator* final del jaguar después de hacer las modificaciones.

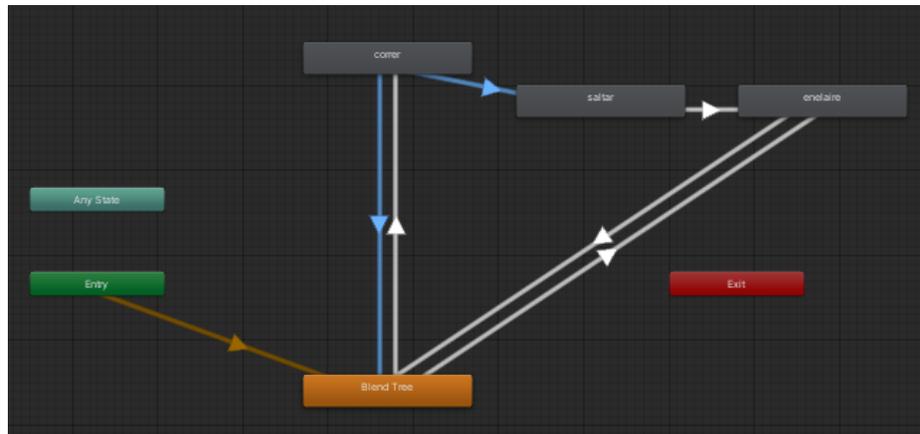


Figura 117. *Animator* final del jaguar.

Al quedar limitado a que la animación saltar del jaguar solo se realice después de la animación correr, fue necesario modificar el script, ya que, aunque se eliminó la transición de *Blend tree* hacia el estado *saltar*, se seguía generando la fuerza de salto al *rigibody* y la fuerza de impulso en el eje vertical al pulsar la barra espaciadora. Por lo que, se agregó una nueva variable de tipo booleana llamada *corriendo* y se agregaron nuevas líneas de código dentro de las condiciones para habilitar la transición a la animación correr.

Para que el personaje pueda correr, es necesario que el usuario presione la tecla shift y que el personaje este en movimiento ( $y \neq 0$ ), lo anterior produce por una parte, que la velocidad de movimiento se incremente y por la otra, que el parámetro booleano *correr* se vuelva verdadero, entonces la variable *corriendo* también se vuelve verdadera; con esto último, el controlador de animación puede realizar la transición de la animación correr a la animación saltar. En caso contrario, el personaje simplemente mantiene su velocidad normal de movimiento y la animación actual. El código generado es el siguiente.

```

void Update()
{
    if (Input.GetKey(KeyCode.LeftShift))
    {
        velocidadMovimiento = velCorrer;
        if (y != 0)
        {
            anim.SetBool("correr", true);
            corriendo = true;
        }
        else
        {
            anim.SetBool("correr", false);
            corriendo = false;
        }
    }
    else
    {
        anim.SetBool("correr", false);
        corriendo = false;
        velocidadMovimiento = velocidadInicial;
    }
}

```

Dentro del código que corresponde al salto, la animación correr se realizará siempre y cuando el personaje pueda saltar y se cumpla la condición de que el usuario haya presionado la barra espaciadora y el personaje esté corriendo. Esto se observa en las primeras líneas de código que a continuación se muestra, el resto quedaría igual, como ya se había explicado anteriormente.

```

if (puedoSaltar)
{
    if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space) && corriendo)
    {
        anim.SetBool("saltar", true);
        rb.AddForce(new Vector3(0, fuerzaDeSalto, 0), ForceMode.Impulse);
    }
    anim.SetBool("tocosuelo", true);
    anim.SetBool("saltar", false);
}
else
{
    EstoyCayendo();
}

public void EstoyCayendo()
{
    anim.SetBool("tocosuelo", false);
    anim.SetBool("saltar", false);
}

```

### 5.3.3 Problema en cambio de dirección

Para dar solución al problema detectado en el cambio de dirección de los personajes, es decir, el cambio es muy rígido, se incluyeron las animaciones para cuando los personajes dan la vuelta. Tomando como referencia la animación caminar que ya se tenía, se realizaron algunas modificaciones para que el personaje rotara el torso y la cabeza hacia un costado mientras continua el ciclo de la caminata. En la Figura 118 se observa el ciclo caminar del guerrero con los ajustes de giro.



Figura 118. Ciclo caminar con giro.

Posteriormente, estas animaciones se incluyeron en el *blend tree* del *animator* de cada personaje, considerando solo una animación y después duplicarla usando la opción *mirror* para hacer girar el personaje hacia el lado opuesto. En la Figura 119 se observa el nodo raíz del *blend tree* del guerrero con los clips de animación finales.

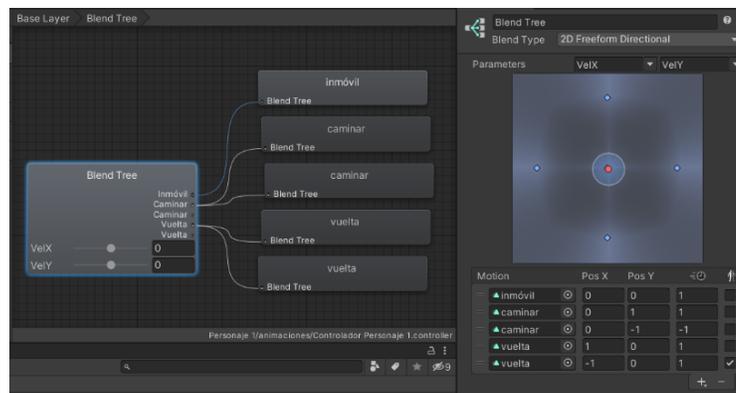


Figura 119. Blend tree final del guerrero.

## 5.4 Resultado final

Después de exportar los modelos y animaciones al motor gráfico de Unity y probar las secuencias de movimiento, así como de corregir las situaciones que generaban problema en las acciones, se puede decir, que los personajes realizados en este proyecto de tesis cumplen con los requisitos para ser implementados en un entorno virtual.

La investigación y análisis en la fase inicial sirvió para determinar las herramientas y el flujo de trabajo adecuado para el desarrollo de los personajes; éstos poseen características individuales y tienen un aspecto adecuado al contexto de Monte Albán, los modelos poseen una topología y un acabado correcto y las texturas incorporadas aportan detalle. La cantidad de polígonos en los personajes permitió procesarlos sin problemas.

Las verificaciones de compatibilidad fueron acertadas, tanto a nivel geométrico, de texturas, esquelético y de animaciones. En algunos casos fue necesario realizar algunas modificaciones como en el *biped* del guerrero, pero una vez solucionado, los resultados fueron favorables. En la Figura 120 se muestra el guerrero zapoteca dentro de la escena de Unity en posición inmóvil.

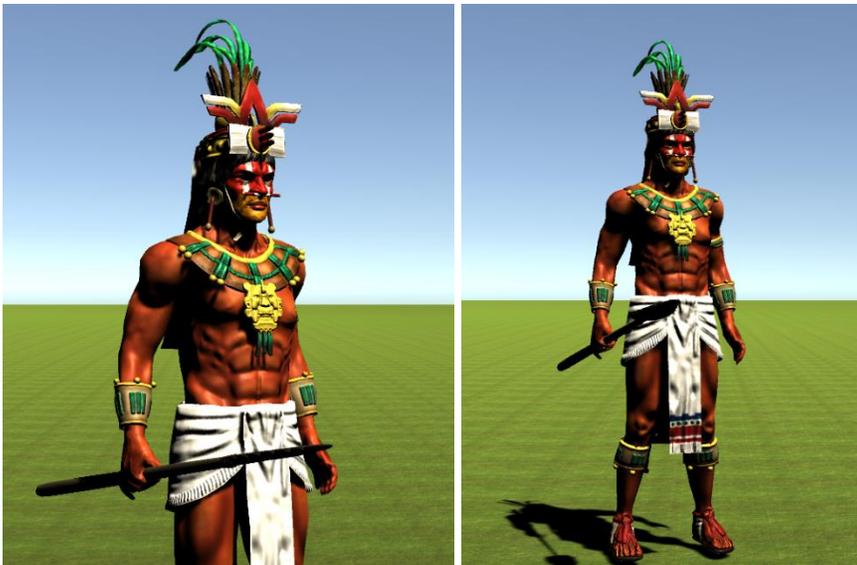
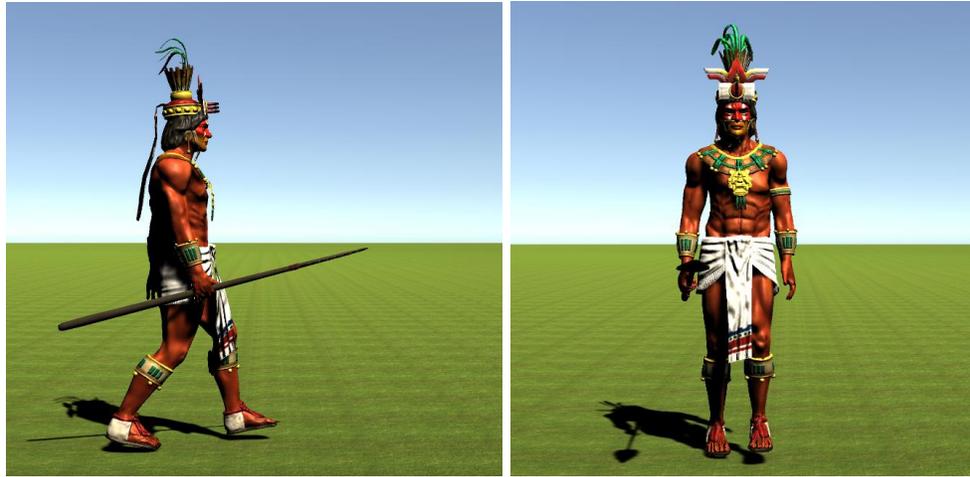
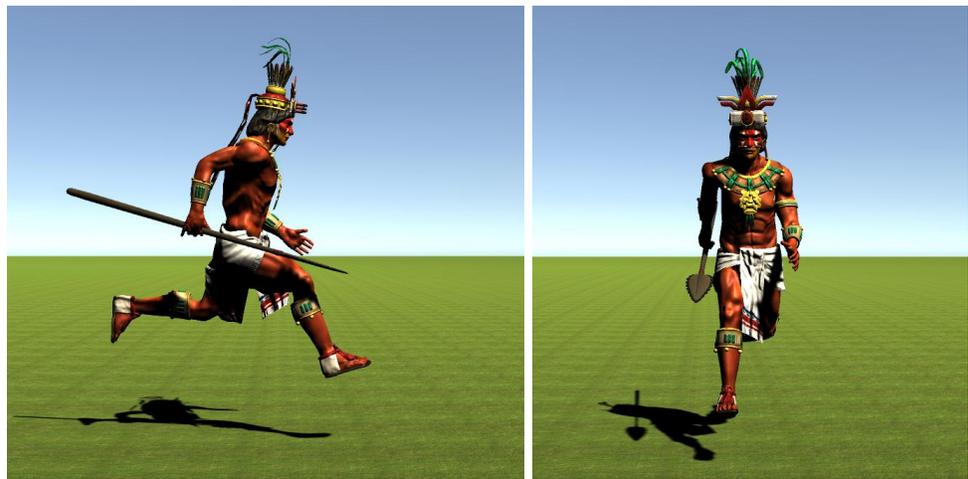


Figura 120. Guerrero zapoteca en posición inmóvil.

En las Figuras 121 y 122 se muestra el guerrero zapoteca dentro de la escena de Unity mientras realiza la acción caminar y correr.

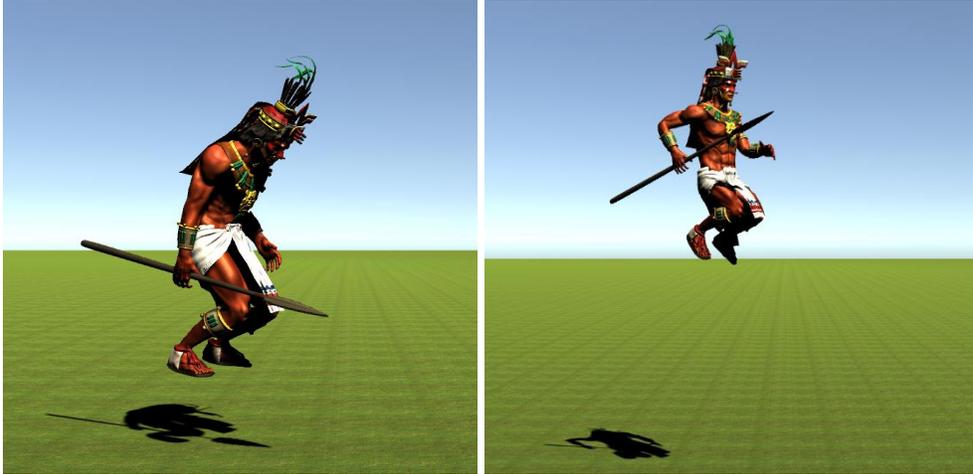


**Figura 121. Guerrero zapoteca que realiza la acción caminar.**



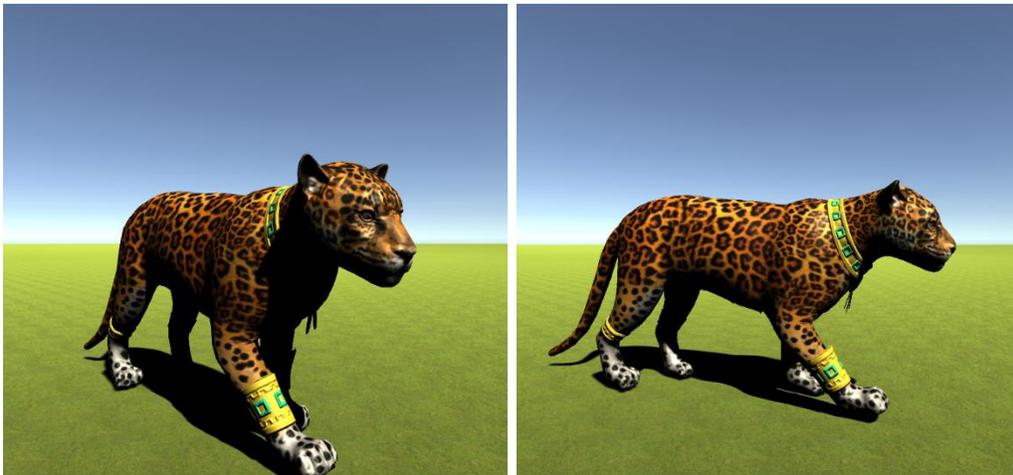
**Figura 122. Guerrero zapoteca que realiza la acción correr.**

La Figura 123 muestra el guerrero zapoteca dentro de la escena de Unity cuando realiza la acción saltar, se observa a la izquierda el momento en que éste toma impulso para dar el salto y a la derecha cuando se encuentra suspendido en el aire.



**Figura 123. Guerrero zapoteca cuando toma impulso para saltar y cuando está el aire.**

En las Figura 124 se muestra el jaguar dentro de la escena de Unity en posición inmóvil.



**Figura 124. Jaguar en posición inmóvil.**

En las Figuras 125 y 126 se muestra el jaguar dentro de la escena de Unity mientras realiza la acción caminar y correr, y en la Figura 127 cuando realiza la acción saltar, se observa a la izquierda el momento en que toma impulso para realizar el salto y a la derecha cuando queda suspendido en el aire.

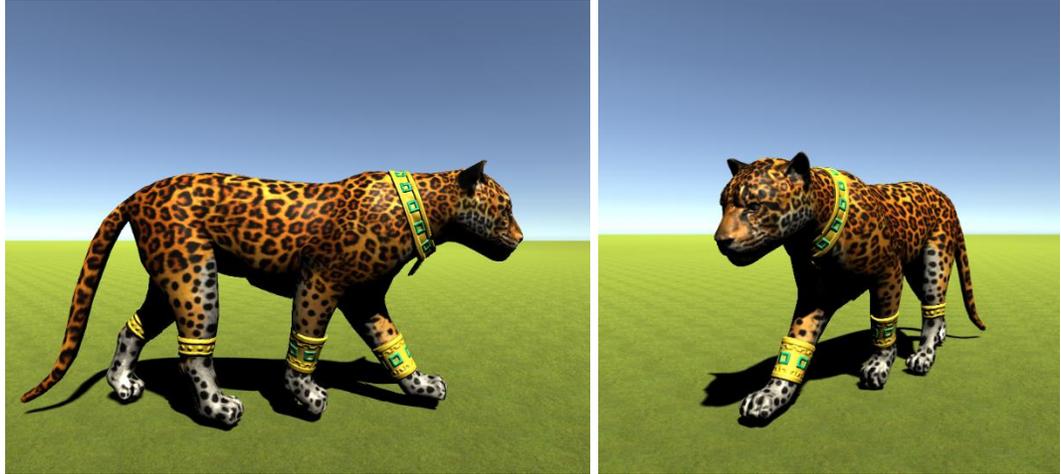


Figura 125. Jaguar que realiza acción caminar.

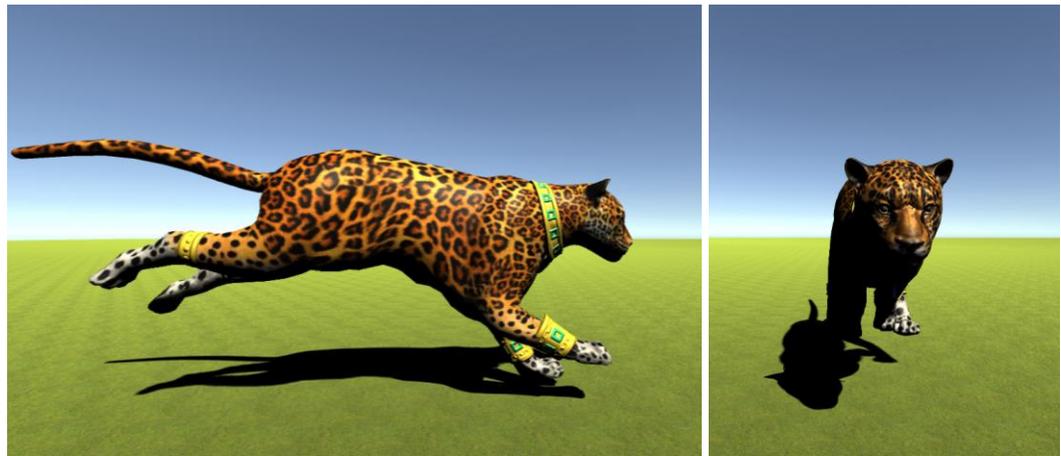


Figura 126. Jaguar que realiza acción correr.

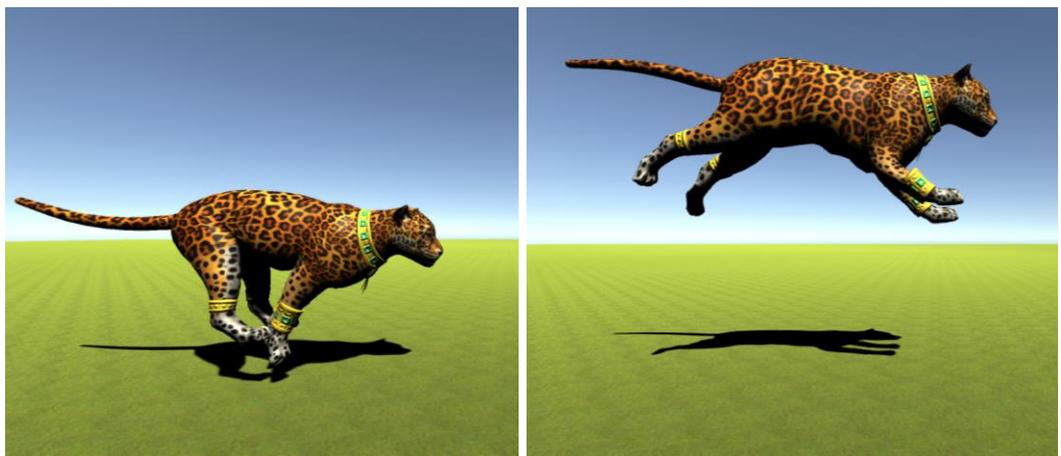


Figura 127. Jaguar cuando toma impulso para saltar y cuando está en el aire.

## 6. Conclusiones

El objetivo general de esta Tesis fue desarrollar personajes virtuales 3D para la difusión y/o promoción del sitio arqueológico de Monte Albán, Oaxaca. Con el análisis del contexto histórico de Monte Albán y de la cultura zapoteca; el seguimiento metodológico para la creación de personajes 3D, desde la definición del concepto, *sketch art*, modelado, mapeado UV, texturizado, *rigging*, animación y exportación al motor gráfico, así como las pruebas y los resultados obtenidos, se puede concluir que el objetivo ha sido cumplido.

Se crearon dos personajes, un guerrero zapoteca y un jaguar. Su desarrollo fue un proceso creativo y técnico que implicó la realización de diversas tareas, mediante un proceso controlado que llevó a una definición completa. Fue de vital importancia conocer el contexto histórico de Monte Albán y la cultura zapoteca, aspectos como la organización económica, política y social, religión y cosmovisión, milicia y conquista y sobre todo la indumentaria, lo que permitió obtener referentes visuales y conceptuales que fueron aplicados al diseño de los personajes y que definieron su personalidad.

El uso de herramientas de escultura digital del software ZBrush favoreció el modelado 3D y el texturizado de los modelos, permitiendo esculpir una malla en alta resolución y posteriormente mediante una retopología, generar una malla de baja resolución a la que le fue transferida los detalles de geometría y de color. De esta manera, se obtuvieron modelos de bajo poligonaje y más ligeros para trabajarlos digitalmente. Los personajes tienen un nivel de polígonos aceptable, siendo de 3880 polígonos para el jaguar y 8993 para el guerrero, incluyendo el arma.

Un *rigging* apropiado a la forma de cada personaje y la aplicación de deformadores, originó un comportamiento gráfico adecuado, suficiente para controlar las deformaciones y obtener movimientos equilibrados. Se generaron ciclos de animaciones de las principales acciones, tratando de simular el comportamiento natural del cuerpo de cada personaje; éstas fueron: condición inmóvil, caminar, correr y saltar.

La implementación de los modelos y animaciones en el motor gráfico de Unity permitió probar las acciones de los personajes y realizar la programación de las secuencias de movimiento. A través de la realización de pruebas se verificó que las acciones de los personajes respondieran adecuadamente a las instrucciones marcadas mediante las flechas del teclado de la computadora, pudiendo detectar situaciones problema de los cuáles se planteó una nueva solución a fin de obtener resultados favorables. En términos generales, los personajes cumplen con los requerimientos necesarios para su uso posterior dentro de un entorno virtual y sus acciones responden adecuadamente al control del usuario.

De todo lo anterior, se puede decir que los objetivos propuestos fueron alcanzados. Los conocimientos aprendidos durante la formación académica y el autoaprendizaje durante el desarrollo de este proyecto contribuyeron para que el proceso de trabajo se llevara a cabo de la mejor manera y con resultados satisfactorios. La resolución de problemas en las diferentes etapas proporciona conocimientos más profundos que serán de utilidad en sucesivos proyectos. Se espera que este trabajo sea de utilidad para las personas interesadas y pueda servir como un referente metodológico en el desarrollo de personajes virtuales 3D.

Como trabajos futuros se propone el modelado de nuevas prendas, accesorios o armas para los personajes virtuales creados, a fin de que el usuario pueda personalizarlos. También se propone la realización del entorno virtual del sitio arqueológico de Monte Albán junto con su interfaz gráfica, así como el desarrollo de objetos y nuevos personajes decorativos que ambienten los diferentes espacios.

## Referencias

- Acosta, J. (Mayo-Junio de 2004). El pectoral de jade de Monte Albán. *Arqueología Mexicana*, 12(67), 16-17.
- Adams, E. (2014). *Fundamentals of game design*. New Riders.
- Afrooz, A., Ding, L., & Pettit, C. (2019). An Immersive 3D Virtual Environment to Support Collaborative Learning and Teaching. En S. Geertman, Q. Zhan, A. Allan, & C. Pettit, *Computational Urban Planning and Management for Smart Cities* (págs. 267-282). Springer. doi:10.1007/978-3-030-19424-6\_15
- Ahn, S. J., Fox, J., & Bailenson, J. (2011). Avatars. En W. Bainbridge, *Leadership in science and technology* (págs. 695-702). SAGE Publications.
- Arellano, A. (2013). *Divertimento bélico*. Cacciani.
- Ávila, R. M. (2002). *Los pueblos Mesoamericanos*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ayala, A. (2005). *La epopeya de México I: De la prehistoria a Santa Anna*. Fondo de la Cultura Económica.
- Baeza, U. (Abril de 2011). Realidad virtual para la dinamización de entornos rurales. *Virtual Archaeology Review*, 2(3), 105-108.
- Bailenson, J., & Blascovich, J. J. (2004). Avatars. En W. Bainbridge, *Enciclopedia of human computer interaction* (págs. 64-68). Berkshire Publishing.
- Barfield, W., & Williams, A. (2018). The law of virtual reality and increasingly smart virtual avatars. En B. Woodrow, & M. Blitz, *Law of virtual and augmented reality* (págs. 2-43). Edward Elgar Publishing.
- Beauregard, G., Magaña, M. A., & Cámara, J. (2009). La cultura del jaguar. *Kuxulcab. Revista de divulgación*, 16(49), 19-29.
- Bodley, R., Briggs, G., Scott, R., & Dennis, P. (2009). *Blood and gold: The Americas at war (Field of glory)*. Osprey Publishing.
- Bogdanovich, A., Rodríguez, J., Simoff, S., & Cohen, A. (2010). Authentic interactive reenactment of cultural heritage with 3D virtual worlds and artificial intelligence. *Applied artificial intelligence*(24), 617-647. doi:10.1080/08839514.2010.492172
- Cabrera, C. (2008). *An essential introduction to Maya character Rigging*. Elsevier.
- Cizel, B., & Ajanovic, E. (2018). Virtual reality for cultural heritage tourism. 131-134. doi:10.15308/Sitcon-2018-131-134
- CONABIO. (2009). *Jaguar*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Conaculta. (2010). *El ABC del patrimonio cultural y turismo*. Conaculta.
- Cortés, S., García, M. R., & Lacasa, P. (2012). Videojuegos y redes sociales. El proceso de identidad en Los Sims. *RED. Revista de Educación a Distancia*(33), 1-18.
- De la flor, M., & Mongeon, B. (2010). *Digital Sculpting with Mudbox*. Elsevier.
- De la Fuente, B. (1989). *Peldaños en la conciencia: rostros en la plástica prehispánica*. UNAM.

- Delgado, A., Lee, E., & Vega, L. (2020). Design of a Virtual Environment Applied to Social Phobias to. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3969-3973.  
doi:10.30534/ijeter/2020/168872020
- Delgado, G. M. (2004). *Historia de México, Legado de México y pasado reciente*. Pearson Educación.
- Espinoza, J. (2011). *Semiótica y retórica aplicada en el desarrollo de personajes y escenarios destinados a proyectos de aprendizaje móvil (M-learning). Caso de estudio: Edumóvil (Tesis de licenciatura)*. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- FCAS. (2011). *Historia y presencia del vestido en el México prehispánico*. Fundación Cultural Armella Spitalier.
- Fernandez, I. (2005). *Historia de México I*.
- Franson, D., & Thomas, E. (2007). *Game character design complete*. Thomson Course Technology.
- Glen, F. (2005). *Anatomy for Fantasy Artists*. Barron's Educational Series, Inc.
- Gutiérrez, J. (2002). Aplicaciones de la realidad virtual en psicología clínica. *Aula médica psiquiatría*, 4(2), 92-126.
- Hassig, R. (1992). *War and society in ancient Mesoamerica*. University of California.
- Heath, I. (1999). *Armies of the sixteenth century: The armies of the Aztec and Inca empires, other native peoples of the Americas, and the conquistadores 1450-1608*. Foundry.
- Heinrichs, L., Dev, P., & Davies, D. (2017). Virtual environments and virtual patients in healthcare. En D. Nestel, M. Kelly, B. Jolly, & M. Watson, *Healthcare Simulation Education: Evidence, Theory and Practice* (págs. 69-79). Wiley Blackwell. doi:10.1002/9781119061656.ch10
- Hermann, M. A. (Marzo-Abril de 2008). Los códices de la Mixteca alta. Historias de linajes y genealogías. *Arqueología Mexicana*, 15(90), 48-52.
- Ingrassia, M. (2009). *Maya for games: modeling and texturing techniques with Maya and Mudbox*. Elsevier.
- Isbister, K. (2006). *Better game characters by design*. Elsevier.
- Jepson, W., Liggett, R., & Friedman, S. (1996). Virtual Modeling of Urban Environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5, 72-86.  
doi:10.1162/pres.1996.5.1.72
- Lebowitz, J., & Chris, K. (2011). *Interactive storytelling for video games*. Elsevier.
- Lee, S., Carlson, G., Jones, S., Andrew, J., Leigh, J., & Renambot, L. (2010). Designing an Expressive Avatar of a Real Person. En J. Allbeck, N. Badler, T. Bickmore, C. Pelachaud, & A. Safonova, *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 6356, págs. 64-76). Springer, Berlin, Heidelberg.  
doi:10.1007/978-3-642-15892-6\_8
- Loomis, A. (1994). *Figure Drawing for all it's worth*. The Viking Press.
- Lupo, A. (Enero-Febrero de 1999). Nahualismo y tonalismo. *Arqueología Mexicana*, 6(35), 16-23.
- Maestri, G. (2002). *Digital Character Animation 2*. New Riders .

- Marcus, J., & Flannery, K. (2001). *La civilización zapoteca*. Fondo de Cultura Económica.
- MEDIAactive. (2010). *El gran libro de 3ds max*. Alfaomega.
- Mohar, L. M. (Noviembre-Diciembre de 2013). Los productos tributados a Tenochtitlán. *Arqueología Mexicana*, 21(124), 56-63.
- Montero, I. (2013). Las nuevas tecnologías en la difusión del patrimonio cultural. (INAH, Ed.) *Hereditas*(19-20).
- Muybridge, E. (1997). *Human figure in motion*. Dover Publications.
- Noguera, J., Gutiérrez, M., Castillo, J., & Segura, R. (2012). Arqueología virtual en dispositivos móviles. Un caso práctico: patrimonio defensivo medieval. *Virtual Archaeology Review*, 3(7), 109-115.
- Oliveros, A. (Mayo-Junio de 2002). Monte Albán, Oaxaca. La ciudad de la gente de las nubes. *Arqueología Mexicana*, 10(55), 80-87.
- Olivier, G. (Enero-Febrero de 1999). Los animales en el mundo prehispánico. *Arqueología Mexicana*, 6(35), 4-14.
- Oudijk, M. (Marzo-Abril de 2008). Mixtecos y zapotecos en la época prehispánica. *Arqueología Mexicana*, 15(90), 63-67.
- Pohl, J. (Marzo-Abril de 2007). La guerra entre los zapotecos. *Arqueología Mexicana*, 14(84), 48-53.
- Pohl, J., & McBride, A. (1991). *Aztec, Mixtec and Zapotec Armies*. Osprey Publishing.
- Pomaquero, M., Ávalos, P., Ramírez, P., & Paredes, A. (Febrero de 2020). Análisis de experiencias culturales desarrolladas con tecnología de realidad virtual. *Polo del conocimiento*, 5(42). doi:10.23857/pc.v5i2.1252
- Rabin, S. (2010). *Introduction to Game Development*. Charles River Media.
- Rahaman, H. (2018). Digital heritage interpretation: a conceptual framework. *Digital creativity*, 29(2), 1-27. doi:10.1080/14626268.2018.1511602
- Rieff, P. (Junio de 2005). Atuendos del México Antiguo. *Arqueología Mexicana*(19), 10-19.
- Robles, N. (2000). Monte Albán y los zapotecos. *Mexico desconocido*, 3.
- Robles, N. (2004). *Monte Albán*. Monclém Ediciones.
- Robles, N. (Enero-Febrero de 2011). Monte Albán. *Arqueología Mexicana*(107), 34-38.
- Robles, N. (Marzo-Abril de 2014). Atzompa y la expansión urbana de Monte Albán. *Arqueología Mexicana*(126), 46-51.
- Rossell, C., & Ojeda, M. d. (2003). *Las mujeres y sus diosas en los códices prehispánicos de Oaxaca*. CIESAS.
- Schell, J. (2008). *The art of game design*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Skrba, L., & Reveret, L. (2009). Animating quadrupeds: methods and applications. *Computer Graphics forum*, 1541-1560.
- Spencer, S. (2008). *Zbrush character creation: advanced digital sculpting*. Wiley Publishing.
- Spores, R. (Marzo-Abril de 2008). La Mixteca y los mixtecos. 3000 años de adaptación cultural. *Arqueología Mexicana*, 15(90), 28-33.

- Stresser-Péan, C. (2012). *De la vestimenta y los hombres. Una perspectiva histórica de la indumentaria indígena en México*. Fondo de la Cultura Económica.
- Urcid, J. (Marzo-Abril de 2009). El simbolismo del jaguar en el suroeste de Mesoamérica. *Arqueología Mexicana*, 12(72), 40-46.
- Vela, E. (2009). Códices Prehispánicos y coloniales tempranos. *Arqueología Mexicana*(82).
- Vela, E. (Abril de 2010a). Cultura zapoteca. *Arqueología Mexicana*(34), 33-37.
- Vela, E. (Diciembre de 2010b). Decoración corporal prehispánica. Catálogo visual. *Arqueología Mexicana*(37), 8-87.
- Vela, E. (Agosto de 2015). La joyería en el México antiguo. Catálogo visual. *Arqueología Mexicana*(63), 8-90.
- Vela, E. (Febrero de 2016). Tocados y peinados en el México Antiguo. *Arqueología Mexicana*(66), 8-90.
- Waggoner, Z. (2009). *My avatar, my self: Identity in video role-playing games*. McFarland and Company.
- Webster, C. (2005). *Animation: The mechanics of motion*. Elsevier.
- Winter, M. (1997). La arqueología de los Valles Centrales de Oaxaca. *Arqueología Mexicana*, 5(26), 6-15.
- Zuñiga, J. A., Amador, J. J., Christian, M., Morales, A., & Mota, C. I. (Julio de 2014). Desarrollo de un entorno virtual tridimensional como herramienta de apoyo a la difusión turística de la zona arqueológica de Teotihuacán. *Acta Universitaria*, 24(4), 34-42.