



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Creació de models humans sintètics, home i dona, aptes per a aplicacions tecnològiques i científiques

Llogari Casas Torres

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

Creació de models humans sintètics, home i dona,
aptes per a aplicacions tecnològiques i científiques

Tesi Doctoral

Llogari Casas Torres

Director

Dr. Carles Ameller Ferretjans

Tutor

Dr. Carles Ameller Ferretjans

Programa de Doctorat

Estudis Avançats en Produccions Artístiques

Línea d'Investigació: Investigació en Imatge i Disseny

Gener de 2015

Facultat de Belles Arts. Universitat de Barcelona



“Saber no és suficient; cal aplicar-ho.”

Goethe

AGRAÏMENTS

Tot i ser un tòpic, però no per això menys cert, m'agradaria dedicar aquest treball a la Mercè, la meva dona, i als meus fills, en Llogari i la Laura els quals han hagut de suportar estoicament tots els moments de mal humor perquè alguna cosa no acabava de sortir o aquells altres en que necessitava suport per refermar-me en la idea de que allò que estava fent estava prou bé i acabava demanant-lo en forma de preguntes del tipus: pots donar-li un cop d'ull a això?, com ho veus?

TAULA DE CONTINGUTS

TAULA DE CONTINGUTS	I
ABSTRACT	V
DECLARACIÓ D'INTENCIONS	VII
MOTIVACIÓ	IX
RESUM.....	XI
CONTRIBUCIONS I RESULTATS	XVII
INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL I	5
La importància del modelat i l'animació de cossos humans.....	5
L'evolució del 3d digital.....	8

Una mica d'història de l'anatomia	15
Les estructures anatòmiques	20
Les estructures actives: els músculs.....	20
Les estructures passives: els ossos.....	22
Antropometria i esquelets funcionals.....	24
Models humans virtuals.....	29
Perspectiva anatòmica dels models sintètics	29
Perspectiva biomecànica dels models sintètics	31
Perspectiva del disseny dels models sintètics.....	32
Segmentació geomètrica d'un esquelet funcional	34
Articulacions axials.....	36
Articulacions apendiculars	37
CAPÍTOL II	39
Introducció al modelat 3D.....	39
Programari actual de modelat i animació per ordinador.....	41
Blender	41
Cinema 4D	41
Autodesk Maya	42
Softimage XSI	42
Autodesk 3Ds MAX.....	43
Carrara.....	43
Cheetah 3D.....	43
Houdini.....	44

Lightwave 3D.....	44
Processos de modelat	45
Modelat per subdivisió.....	47
Antecedents	49
Diferències amb el modelat poligonal clàssic	54
El problema dels n-gons.....	58
Tècniques de deformació de subdivisió de superfícies.....	59
Deformació basada en la volumetria	59
La pell lligada a la capa de l'esquelet	60
La pell lligada a una capa deformable.....	61
Capes deformables anatòmic-funcionals.....	62
Texturització: creació d'UVs.....	63
CAPÍTOL III	67
La animació 3D	67
Primers treballs d'animació amb models sintètics	68
Sistemes inicials d'animació basats en cinemàtica	70
El model híbrid: cinemàtica i dinàmica	71
Els models d'esquelets actuals.....	74
Mètodes per a l'animació de figures articulades.....	76
Escultura o animació: la necessitat de la retopologia.....	79
CAPÍTOL IV.....	83
Visualitzadors 3D.....	83
Alternativa 3D	85

Flare3D	90
Sketchfab.....	92
FBX Review	92
BIBLIOGRAFIA.....	95
ANNEX 1: Models en estàtic.....	99
ANNEX 2: Models en moviment.....	107
ANNEX 3: MoCap amb Kinect	121
ANNEX 4: Programari emprat	127
ANNEX 5: Vídeos dels models	129

ABSTRACT

Als artistes l'estudi de l'anatomia els serveix, ens serveix, per entendre la relació entre la forma exterior i les estructures responsables de la creació d'aquesta forma. En aquest treball seguiré un enfocament similar en el desenvolupament de models basats en l'anatomia, especialment pel que fa als músculs i als ossos. Consideraré la influència de la musculatura en les formes superficials i desenvoluparé uns models de musculatura que s'adaptin automàticament als canvis de la postura d'un esquelet articulats subjacent que farà les funcions d'esquelet funcional. Els models s'implementaran en un llenguatge que ofereix uns mecanismes i procediments útils per definir i manipular models articulats de forma que a posteriori i amb un maquinari molt més potent també sigui aplicable a altres parts del cos humà no visibles (en el sentit d'afectables) des de la morfologia externa com poden ser el sistema limfàtic, el digestiu o el circulatori dels quals no se'n farà l'animació degut a la gran quantitat de recursos que es necessiten com a conseqüència de l'elevat nombre de polígons que contenen. Per mostrar el funcionament d'aquest procediment l'aplicaré en diverses situacions als dos models de figura humana realitzats en aquest treball.

En aquesta tesi abordaré el procés de modelat d'un cos humà masculí sintètic i d'un de femení fent ús d'un software de representació tridimensional.

L'objectiu final és la realització d'un model humà tridimensional d'home i d'un de dona amb la màxima fidelitat possible a la realitat. Els moviments i les animacions obtingudes amb ambdós models estaran sota llicència de Creative Commons per tal de fer viable els dos aspectes següents:

1. Que d'una banda aquests resultats puguin ser emprats pels estudiants d'arts en general i d'animació en particular per assolir coneixements anatòmics i poder així estudiar i analitzar postures i moviments que d'altra manera serien difícils de retenir.
2. Que en formar part d'una base de dades de moviments i estar aquests sota una llicència compartida tots ens puguem beneficiar de les aportacions que algú altre pugui també fer i incorporar a posteriori en aquesta base de dades.

Aquest treball està estructurat en quatre capítols.

En el Capítol I hi trobem una part introductòria on es detallen els antecedents històrics pel que fa al procediment emprat, es justifica la realització del treball i es fa un repàs de les dues grans estructures, axial i apendicular, com a responsables de la major part de la geometria visible del cos humà

El Capítol II fonamenta teòricament la creació de gràfics 3D en general, el sistema de modelat emprat tot comparant-lo amb els altres sistemes i el procés tècnic de riggejat i mapejat del models generats.

En el Capítol III es detallen les característiques necessàries que han de reunir els esquelets funcionals per poder rebre animació de forma automatitzada i s'aplica l'animació a aquests a partir d'arxius MoCap.

En el Capítol IV es detalla la implementació de les animacions en quatre simuladors 3D i es valoren les possibilitats que té cadascún i les funcionalitats que podrà fer servir l'usuari.

DECLARACIÓ D'INTENCIONS

Tenint en compte les consideracions descrites a l'apartat anterior la intenció de treball pot enunciar-se de la següent manera:

Prenent com a base un esquelet funcional el qual està format per una geometria simple que reproduïx i respecta els graus de llibertat de les articulacions humanes, produiré un procés bidireccional que permeti visualitzar la superposició i disposició dels ossos, músculs, nervis i òrgans que es produeix en un cos humà durant la realització de diferents moviments.

MOTIVACIÓ

El complex acoblament que es produeix entre l'esquelet, els músculs, els tendons, els lligaments i els òrgans d'un cos és un testimoni de les forces creatives de la natura les quals creen un mecanisme que és capaç de produir una gamma versàtil de locomocions, capaç de córrer i saltar, de jugar a billar o tocar el piano. A més el paper funcional d'aquests teixits és de gran bellesa visual tant pel que fa a les seves formes com pel canvi subjacent d'aquestes durant la construcció del moviment. Grans artistes com Leonardo o Rubens varen estudiar la relació entre la forma i la funció dels ossos, dels músculs i dels òrgans de la mateixa forma que els primers dibuixants de la Disney van estudiar anatomia comparada¹ per perfeccionar les seves tècniques d'animació en l'elaboració dels animals que representaven i humanitzaven.

En aquesta tesi es presenta una tècnica de modelat dels teixits i òrgans subjacents basada en el coneixement de la generació de gràfics per ordinador i l'anatomia. El procediment emprat és el del modelat per superfícies de subdivisió amb la qual cosa s'aconsegueix un aspecte de superfície llisa i suau similar al modelat amb NURBS però defugint tant del modelat per corbes d'aquesta mena

¹La anatomia comparativa o anatomia comparada, considera a cada ésser com un sistema únic, un conjunt on les diverses parts que el componen es corresponen i es condicionen, per reaccions recíproques. Així, si una de les seves parts divergeix en la seva estructura predefinida, originària, condicionarà la resta de les parts del conjunt que també hauran de divergir de l'estructuració inicial. Per exemple, si un animal és carnívor, tot el seu cos haurà d'estar adaptat per poder acomplir aquesta funcionalitat.

Font Viquipèdia. http://ca.wikipedia.org/wiki/Anatomia_comparativa

com del modelat per polígons convencionals. El resultat és un sistema de modelat que pot representar tant la naturalesa geomètrica de la unitat formada pel dels diferents elements que conformen un cos humà com permetre al mateix temps representar-ne el moviment.

El repte és doncs el desenvolupament de dos models, un d'home i un de dona, que puguin servir per a aplicacions diverses al temps que també siguin vàlids per a l'aprenentatge i estudi de les postures i l'anatomia humana.

RESUM

Des de finals del segle XX, els gràfics 3D i les tècniques d'animació per ordinador han estat àmpliament utilitzades en produccions d'anuncis, pel·lícules, títols de crèdit i efectes visuals. És així com s'han convertit en una part indispensable del cinema i la televisió. El ràpid creixement de la tecnologia i el seu impacte en tot el sector de la producció ha permès que s'imposin ràpidament fins a convertir-se en tècniques força variades i d'àmplia i indispensable implementació en entorns tant diversos com poden ser el cinema o l'educació, la medicina o les arts.

En la indústria del segle XXI les simulacions i les animacions per ordinador s'han convertit en quelcom molt important. Personatges, situacions, objectes, esdeveniments i llocs de difícil accés o amb alts costos econòmics o fins i tot impossibles de prototipar es poden produir, simular i animar a través de tècniques de disseny 3D amb ordinador.

Aquest fet ha significat que diversos sectors s'hagin beneficiat i s'estiguin beneficiant d'aquestes tècniques especialitzades. L'augment de les àrees de demanda i d'aplicació fan necessaris plantejaments al voltant de les qüestions d'estètica i disseny dels nous models. En sorgir la necessitat, les animacions 3D per ordinador han afegit una nova dimensió al camp de l'art i el disseny i han portat a sospesar la qüestió del valor artístic i estètic d'aquests dissenys.

Vist això podríem concloure en el fet que els models virtuals basats en humans estan demostrant que són cada vegada més valuosos en simuladors industrials, en educació o en tasques de recerca i

investigació en general. Això juntament amb els avenços tecnològics en general, la popularització de les tecnologies informàtiques i l'enorme avenç en els programes de tractament d'imatges han proporcionat les eines necessàries per poder desenvolupar models anatòmics sintètics tridimensionals que siguin completament funcionals i aptes per al seu ús en la indústria, l'educació o les arts plàstiques.



La lliçó d'anatomia del doctor Nicolaes Tulp, Rembrandt 1632

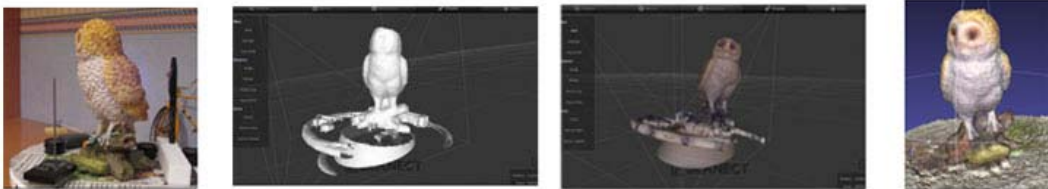
Tradicionalment per poder desenvolupar aquests models anatòmics que es mencionen en el paràgraf anterior cal centrar-se en tres grans apartats: representar la forma dels cossos i els objectes 3D (modelat), descriure com es mouen els objectes (animació) i la simular la textura de la part del cos a representar per tal de produir unes imatges finals amb prou qualitat visual (renderitzat). La conjunció d'aquestes etapes demana un alt grau d'intervenció humana. Aquest fet ha comportat que les grans aplicacions de gràfics per ordinador on el moviment dels cossos pren molta importància com pot ser el cas dels llargmetratges d'animació per ordinador, siguin cars i lents de produir.

Això ha estat així perquè el modelat i l'animació dels cossos humans ha estat una de les tasques més difícils amb que es troba qualsevol animador. El modelat del cos humà realista requereix d'una superfície geomètrica suau i precisa si es vol obtenir una correcta representació. Aquesta precisió està lligada al fet de que les formes orgàniques necessiten de superfícies corbades si es volen obtenir representacions de qualitat i això si es treballa amb modelats poligonals convencionals significa una quantitat de polígons molt elevada la qual cosa dificulta en excés qualsevol manipulació del cos sintètic per petita que aquesta modificació sigui.

Independentment a la tècnica emprada dins del procés de modelat la qual abordaré més endavant, actualment existeixen tres metodologies de modelat del cos humà: el modelat creatiu, el modelat reconstructiu i el modelat interpolat.

El mètode de creació de models interpolats és avui per avui el més empat per a la creació d'objectes simples ja que aquest mètode fa servir conjunts de models predefinits. Com a conseqüència directa de la pròpia interpolació. Aquest mètode proporciona una manera d'aprofitar els models existents per generar-ne de nous amb un alt nivell de control. Això, juntament amb el fet que també és un mètode molt adequat per treballar arxius obtinguts a partir de seqüències d'imatges 2D l'ha fet guanyar popularitat en el seu ús especialment quan els objectes han de tenir un últim destí real a través de dispositius de sortida com pot ser una impressora 3D.

Si bé aquest mètode proporciona resultats ràpids i a més fa un ús molt reduït dels recursos del maquinari i els objectes i cossos obtinguts per aquesta via són eficaços a nivell de les relacions que podem establir entre la qualitat i la quantitat de polígons i l'aspecte final del resultat obtingut, un factor que genera inconvenients i limita molt el seu ús són les constants deformacions que es produeixen en la representacions en 3D quan hi ha importants variacions en l'angle de les articulacions.



Exemple de modelat per interpolació fet amb Skanect. La imatge de més a l'esquerra correspon al model real mentre que la de més a la dreta correspon al model sintètic. Imatges del treball de fi de grau realitzat per en Joan Soler Abelló. Grau multimèdia de la UOC. Barcelona 2013

La popularització d'escàners 3D d'ús domèstic com la Kinect per exemple, ha fet que darrerament el modelat de cossos humans s'hagi orientat molt cap a l'ús de mètodes i tècniques reconstructives les quals permeten reconstruir i reproduir la geometria 3D de forma força automatitzada mitjançant la captura humana directa².

Kinect és un controlador àmpliament conegut com a dispositiu d'entreteniment, que funciona com a sensor de captura de moviment per a la consola Xbox 360 de Microsoft. Després de l'alliberament

² A l'annex 3 es descriu pas a pas el procés de captura de moviment realitzat amb una Kinect.

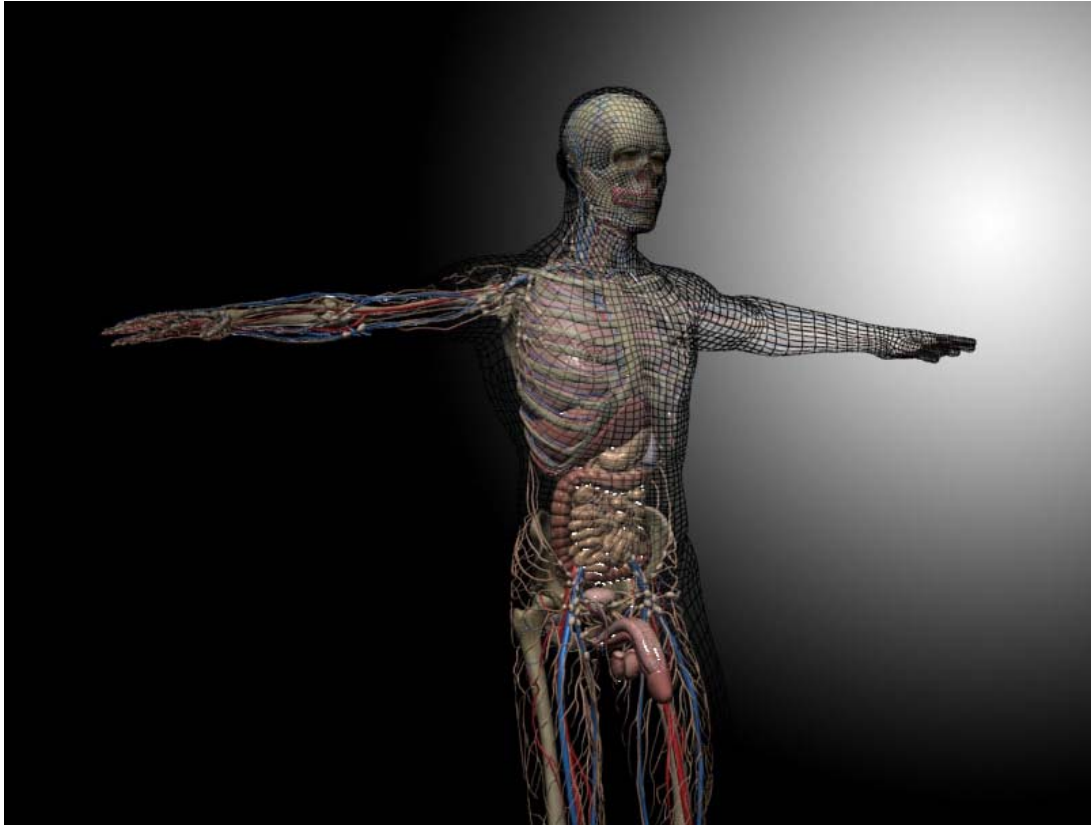
dels controladors de reconeixement 3D per part de l'empresa creadora, PrimeSense, ha passat a tenir diferents usos en camps experimentals i d'investigació en projectes de robòtica, animació i visió artificial fins al punt que Microsoft va decidir llançar una versió del dispositiu per a PC amb algunes millores com són per exemple la detecció d'objectes a menor distància o la de poder comptar amb una SDK³ específica per a desenvolupadors

Per últim trobem el modelat creatiu el qual està basat en models anatòmics. Aquest és el mètode tradicional de modelat de cossos descrit per Scheppers⁴. En aquest mètode es posa de manifest que els models humans han d'imitar i ser el més fidels possible a cadascuna de les parts i òrgans del cos humà de forma que els models es construeixen i representen en diverses capes per simular músculs, ossos, òrgans i teixits.

Aquest és el mètode que ofereix més possibilitats ja que permet ser molt fidels a la realitat però també permet ser molt imaginatius a l'hora de representar moviments i per tant poder representar situacions completament irreal. Amb tot però aquest és un mètode que requereix una considerable intervenció per part de l'animador i per tant demanarà d'un temps de producció relativament alt la qual cosa el fa inviable per a aplicacions que demanen immediatesa com pot ser per exemple l'animació de personatges sintètics amb funcions de presentadors de televisió.

³ SDK són les sigles com s'identifica a un kit de desenvolupament de programari o el que és el mateix un *Software Development Kit*.

⁴ La descripció completa d'aquest mètode es troba als papers de SCHEPPERS, F. i 3 més. **Anatomy-Based Modeling of the Human Musculature**. SIGGRAPH 1997. Los Angeles.



Model de cos humà, home, creat específicament per a aquest treball

En aquesta tasca, a banda de la creació dels models humans fent servir una variant del mètode de creació mitjançant modelats poligonals convencionals, s'aborda també una metodologia de treball que permet unir el modelat creatiu amb els avantatges del mètode reconstructiu sempre i quan les animacions siguin representacions fidels de postures reals. D'aquesta forma les animacions obtingudes des de la realitat poden ser aplicades directament a models sintètics sense necessitat de fer-ho en un estudi altament especialitzat eliminant d'aquesta manera bona part de la gran demanda de temps i diners que habitualment necessiten aquesta mena d'animacions.

CONTRIBUCIONS I RESULTATS

Aquest treball presenta una solució al problema del disseny i implementació d'un sistema d'animació basat en un model anatòmic.

Es centra l'atenció en el desenvolupament d'un model geomètric que contingui tant l'esquelet com la musculatura i els principals òrgans i sistemes del cos humà i, que tots aquests elements puguin ser observats sota diferents postures i moviments de forma que permetin visualitzar, entendre, aprendre i fins i tot copiar els efectes de canvis de geometria que es produeixen en la forma del cos com a causa del moviment.

Un primer pas a tenir en compte en el moment de generar els modelats que acompliran amb les expectatives previstes és el fet de que se'ls hi pugui aplicar diferents moviments reals, és a dir capturats directament del natural, de forma força automatitzada evitant així al màxim possible la intervenció de l'usuari i/o l'animador. És en aquesta part on cal tenir en compte sistemes compatibles amb aplicacions de captura d'imatges que facin ús d'escàners digitals 3D.

Aquesta tècnica coneguda com a MoCap i que fins fa poc estava reservada només a grans empreses s'ha posat ara a l'abast de públic menys especialitzat amb l'aparició d'escàners de baix preu, com la Kinect de Microsoft, els quals permeten l'adquisició de moviments de forma força precisa i econòmica tal i com s'explica a l'Annex 3.

Els resultats d'aquest treball són doncs els següents:

- Dos cossos humans, un d'home i un de dona, modelats i estructurats en capes de forma que puguin engrunar-se cadascuna de les seves parts i sistemes facilitant així la possibilitat de poder observar allò que interressi a cada moment.

- Un conjunt online i obert de les animacions fetes en base als arxius capturats de la realitat. Aquest conjunt d'animacions està destinat a formar part a més llarg termini d'una base de dades oberta, consultable per part de tots aquells que hi puguin estar interessats.

L'objectiu de la creació d'aquests darrers arxius és que l'usuari final pugui visualitzar (posant com a únic requisit el fet de disposar d'un dels múltiples visors 3D que poden trobar-se gratuïtament a la web) des de qualsevol punt de vista del model que li interessi en la postura i animació triades sempre i quan aquest model estigui disponible a la base de dades. Les animacions i els models generats seran després d'exposar aquest treball de domini públic i estaran adscrits a una llicència oberta de forma que qualsevol persona pugui beneficiar-se'n i alhora també pugui contribuir aportant-hi més models o animacions diferents.

INTRODUCCIÓ

El modelat de cossos humans i la seva animació ha estat una de les principals àrees d'investigació en gràfics per ordinador des de la dècada de 1970. La complexitat de la simulació del cos humà i el seu comportament és directament proporcional a la complexitat del propi cos humà i s'agreuja per la gran quantitat de moviments que és capaç de fer. Tot i que els programes 3D actuals contenen estructures articulades ja presetejades, aquestes acostumen a ser aproximacions raonables a l'esquelet humà. Aquest fet fa que molt animadors utilitzin estructures articulades massa simples per poder ser considerades anatòmicament correctes. El tors en general i la columna vertebral en particular són exemples clars de zones on la precisió es sacrifica a favor de la simplicitat.



Per ordre d'esquerra a dreta: vista d'un esquelet predefinit d'Autodesk Maya, vista d'una representació real d'un esquelet i vista d'un esquelet predefinit d'Autodesk 3Ds MAX

El desenvolupament d'esquelets més precisos pel que fa a les rotacions és encara avui en dia una àrea activa de treball⁵. En diversos casos, la sobre simplificació provoca resultats no desitjats o deformacions estranyes en la superfície de la forma. L'ús de superfícies flexibles genèriques

⁵ *L'estudi d'esquelets va estudiar-se i treballar-se molt des de finals dels anys vuitanta i durant tots els noranta.*

ubicades a prop de les articulacions és una aproximació a les formes que si bé pot ser força encertada no és gens precisa ja que provoca que moltes de les deformacions produïdes per l'allargament o encongiment de la musculatura es representin properes a la zona de l'articulació mentre que en la realitat aquestes deformacions és produeixen lluny de la pròpia articulació que es la que ha generat la deformació.

Actualment trobem diferents models a la xarxa⁶ els quals es poden classificar en dos grans grups en funció de l'orientació amb la que han estat creats.

D'una banda trobem un grup amb models de qualitat gràfica elevadíssima que centren la seva atenció en aspectes principalment pedagògics aquest seria el cas dels models de 3dscience.com.

Per altra part hi ha un grup menys preocupat per les correspondències entre les diferents parts de l'anatomia humana i l'aspecte gràfic que tenen els models però per contra, molt més centrat en simulacions de dinàmiques de teixits, aquest seria el cas de zurichmedtech.com

En aquest treball es presenta un enfocament per al modelat de figures humanes molt més similar al primer cas que és a més el sistema útil a l'anatomia artística. Aquest sistema es basa en l'establiment de les relacions entre la forma exterior i les estructures subjacents responsables de la seva creació, d'aquesta manera la forma inicial de la superfície i els canvis d'aquesta es poden entendre més fàcilment i conseqüentment també poden ser representats de forma millor.

Tot i centrar-me molt en l'estructura òssia i en la musculatura, com a principals responsables que són de la morfologia externa del cos humà, molts dels processos i mètodes explicats al llarg d'aquest treball poden aplicar-se igualment a modelats d'altres parts no externes del cos o fins i tot al teixit adipós el qual, no es tractarà per les seves característiques molt més individualitzades.

⁶En aquestes URLs poden trobar-se exemples de models anatòmics sintètics fets en la mateixa línia que els desenvolupats per a aquest treball:

<http://www.innerbody.com>

<http://www.anatomyatlases.org/atlasofanatomy/index.shtml>

<https://itunes.apple.com/app/id446207961>

<http://www.3dscience.com/index.php>

<http://www.zurichmedtech.com>

Tant des d'un punt de vista de creació de gràfics com a través d'un ús molt avançat de les matemàtiques és possible modelar amb precisió la forma de cossos, objectes i personatges. Amb el temps la infografia ha avançat i s'ha passat de poder fer tant sols dibuixos molt simples a ploma amb un traçador a poder reproduir sofisticades imatges formades per centenars de milers de polígons i milions de colors les quals a més a més poden ser mostrades en dispositius de visualització d'alta qualitat. La capacitat més elevada, la millor gestió de la informació i en general un maquinari més potent i ràpid ha permès evolucionar des de la complexitat d'un gràfic compost per un grapat de dotzenes de polígons a representacions gràfiques extremadament complexes que eren impensables de poder realitzar, més encara fora d'entorns industrials, fa només uns anys.

Conseqüència directa d'aquesta millora és el desenvolupament de tècniques sofisticades de modelat amb el canvi tant de les propietats superficials dels objectes com amb el seu canvi d'estructura i organització interna resultant així formes molt més properes a la realitat les quals a més són capaces de simular tant propietats físiques⁷ com propietats òptiques⁸. Malgrat tot l'animació de formes complexes, i per tant de cossos humans, generada per l'ordinador de forma completament automàtica té encara dues mancances:

1. El fet de no crear una àmplia gamma de representacions realistes d'accions concretes de forma força automatitzada sense que sigui necessària la intervenció de cap especialista.
2. El fet que qualsevol animació queda en principi molt lligada al software que l'ha generat tot i que aquest pugui ser un programari de codi obert i per tant d'ús lliure.

Aquestes mancances fan que el modelat de caire realista i la seva posterior animació continuï sent un dels esculls més difícils de superar en el disseny de gràfics per ordinador i que això faci que, exceptuant les empreses especialitzades del sector, no hi hagi massa animació humana de tall realista. Hi ha dues raons fonamentals en això:

1. La possibilitat de disposar del disseny d'un model de cos complet que a més sigui apte i estigui enllestit per a rebre animacions. Això darrer vol dir que ja tingui l'esquelet funcional posat, el rígg fet, els vèrtex pesats, el procés d'skinning acabat, les UVs fetes i les textures i materials creats i posats.
2. L'animació natural és una tasca difícil ja que la carn humana no és rígida a diferència de l'os subjacent i això provoca canvis constants en algunes parts de la forma exterior del cos

⁷Les propietats físiques poden ser per exemple la visibilitat, el grau de transparència o d'opacitat, la textura o la qualitat del material de la superfície

⁸ Les propietats òptiques són la generació d'ombres i la reflexió i refracció de la llum

ja que quan una figura es mou a través d'una seqüència animada, els músculs de les extremitats i els teixits que es troben al voltant de les articulacions canvien de forma d'una manera ràpida i constant.

El cos humà és un organisme immensament complex que conté més de 200 ossos i diversos centenars de graus de llibertat⁹. Una figura humana és capaç de moure's en tal quantitat de formes i adquirir tal quantitat de postures que encara estem aprenent com definir, mesurar i tabular tots aquests moviments. Aquesta tasca es veu a més dificultada pel fet que el moviment humà és una activitat que a tots ens és familiar i en la qual tots i totes estem ben entrenats. Això ens converteix a tots en especialistes a l'hora de saber si un moviment és realista o si per contra és poc natural i consegüentment sense concordança amb la realitat. Així doncs les seqüències d'animació de moviments humans generades amb ordinador han de complir amb un estàndard molt alt per ser acceptables pel global de la població.

L'especificitat que es genera pel fet de crear animacions de moviments humans de tall realista en sistemes informàtics planteja, de forma tangencial, algunes qüestions interessants com són:

1. Com es pot definir una seqüència de moviment realista emprant alhora el mínim esforç i un sistema que sigui amigable i familiar a qualsevol animador?
2. Quin podria ser el mètode més simple a emprar per un animador, en general, a l'hora de crear un moviment?
3. Com podrien visualitzar i controlar les diferents fases d'un moviment els artistes per tal de poder-lo analitzar moment a moment?

⁹ Les articulacions es classifiquen en un, dos o tres eixos segons sigui el seu moviment. És en base a aquesta classificació que diem que tenen un, dos o tres graus de llibertat ja que cada grau correspon a la possibilitat de rotar sobre un eix de coordenades concret. Una articulació que és mogui en un únic eix reb el nom d'articulació uniaxial i tenen només un grau de llibertat. Al cos humà hi trobem per exemple el genoll o el colze. Una articulació que es mogui en dos eixos reb el nom d'articulació biaxial i tenen dos graus de llibertat. Al cos humà hi trobem per exemple l'articulació del canell o la del turmell. Una articulació que pugui moure's en els tres eixos tenen tres graus de llibertat i reben el nom d'articulacions multiaxials. En el cos humà són totes les que tenen una ròtula esfèrica com per exemple el cap del fèmur o el de l'húmer

CAPÍTOL I

La importància del modelat i l'animació de cossos humans

Els models de figures generades amb ordinador i les seqüències d'animació tenen moltes aplicacions en una varietat de camps. En medicina i disciplines semblants els models humans es poden utilitzar per estudiar anatomia i fisiologia humana. En animació comercial el fet d'incloure figures realistes augmenta l'interès i la qualitat de les seqüències d'animació. A més a més l'ús de sistemes informàtics en animació comercial ajuda a reduir els elevats costos de producció que significa l'animació dibuixada a mà al temps que també permet produir moviments més precisos. Les animacions realistes de cossos humans poden ser emprades en camps tant diversos com per exemple en biomecànica per estudiar moviments i situacions concretes i extreure'n patrons de probabilitat els quals poden obtenir-se fàcilment en simular reiteradament accions concretes ja siguin aquestes accions perilloses o no perilloses. Poden ajudar a minimitzar riscos d'accidents i lesions fet aquest que contribueix directament a maximitzar el rendiment en entorns tant en els domèstics com en els laborals.

Per fer que tot això sigui possible i que una malla formada per polígons respongui a unes determinades ordres generant un moviment concret del qual en puguem extreure conclusions, els models humans sintètics fan servir una base que no és altra que un esquelet de geometria simple que té com a únic objectiu fer d'esquelet funcional i que per tant és el receptor de l'animació.

Aquests esquelets funcionals, que han evolucionat força des de la seva concepció, utilitzen un sistema articulat simplificat (com els que ja es varen mostrar a les imatges de la introducció d'aquest treball) el qual consisteix en relativament pocs segments units entre ells. Aquesta simplificació es produeix especialment a la zona de la columna vertebral.



Hipi Flying (de Dream Flight) Thalman 1990. Extret de la tesi doctoral de Luciana Porcher. Ècole Polytechnique Fédérale de Laussane. Laussane 1998

En aquest sentit és fàcil observar que els punts de control de moviment complexos que es varen desenvolupar pels primers models articulats treballen millor sota comportaments similars als de un robot que no pas com a figures humanes pròpiament dites.

Nadia Magnenat-Thalmann i el seu marit Daniel Thalmann van desenvolupar diversos models articulats¹⁰ que servissin de suport a figures humanes tot i així el problema de les articulacions seguia vigent. Per intentar solucionar aquest problema van aparèixer models que refeien totalment la part esquelètica de la figura humana i aportaven solucions que resolien problemes específics especialment pel que fa a les rotacions i graus de llibertat d'algunes articulacions.

Badler va remodelar tota la zona de les espatlles¹¹ aconseguint que les relacions entre les clavícules, l'estèrnum i les escàpules fossin les correctes i tinguessin basada la seva posició espacial en la postura real que té l'húmer durant l'animació. A partir d'aquest treball el matrimoni Thalmann va crear un conjunt basat en l'allargament de la clavícula que produeix bons resultats pel fet de cobrir tota la zona deltoïdal com a àrea d'influència.

¹⁰ Molts dels seus models poden veure's a: **Complex models for animating synthetic actors**. IEEE Computer Graphics and Applications n^o 11, IEEE Computer Society. Los Alamitos 1991

¹¹ Paper publicat al SIGGRAPH de 1992 a Chicago amb el títol de **Graphical behaviors and animated agents**.

Un any abans el mateix Badler juntament amb Monheit havien desenvolupat un model cinemàtic de columna vertebral¹² humana amb el qual el tors podia ser corbat i doblegat tant endavant com endarrere, fet aquest que millorava ostensiblement el realisme.

L'any 1997 Scheepers, Parent, May i Carlson van desenvolupar un model d'esquelet¹³ que suportava tant la pronació com la supinació amb força precisió anatòmica. Aquest model estava basat en els models que prèviament havia desenvolupat Badler.

Actualment els esquelets funcionals segueixen sent molt similars al model desenvolupat pel grup de Scheepers. Són simplificacions d'esquelets reals ja que tot i poder-se ajustar a nivell de quantitat d'ossos segueixen tenint massa graus de llibertat en algunes articulacions com passa per exemple a la del colze. Aquest fet originàriament pensat per permetre representacions de diferents tipologies de criatures va alhora en contra de la representació automàtica de cossos humans ja que permet fer moviments que la realitat no permet.

¹² Publicat a la *IEEE Computer Graphics and Applications* nº 11 amb el títol **A kinematic model of the human spine and torso**. IEEE Computer Society. Los Alamitos 1991

¹³ Aquest model és visible a la publicació **A procedural approach to modeling and animating the skeletal support of the upper limb**. Publicat pel ACCAD (Advanced Computing Center for the Arts and Design) de laOhio University. 1996

L'evolució del 3d digital

La dècada dels seixanta es considerada com l'inici dels primers estudis 3D digitals amb tot però uns anys abans ja s'havien fet alguns intents. A la dècada dels 50, l'artista John Whitney i el seu germà James van crear un conjunt de pel·lícules experimentals on es combinaven patrons musicals amb d'altres vectorials. Aquestes pel·lícules van atreure l'atenció del dissenyador de títols de cinema Saul Bass el qual va demanar als germans Whitney que creessin un conjunt de gràfics vectorials per ser incorporats a la seqüència d'inici del film Vertigen (1958) d'Alfred Hitchcock.

És important assenyalar que Whitney i els artistes d'aquell moment no disposaven de les interfícies ni el programari tal com el coneixem avui en dia i això volia dir que la feina feta amb ordinador tan de dissenyadors com de programadors eren autèntics exercicis de codificació amb la qual cosa no era possible veure l'evolució dels gràfics fins a tenir tota la programació completada.

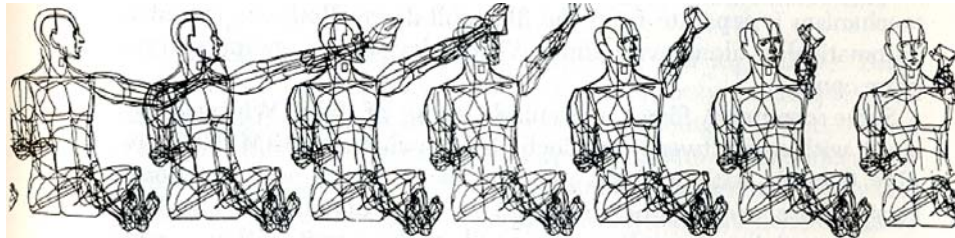
John Whitney va continuar explorant l'ús de gràfics vectorials com a art. Va treballar amb els programadors d'IBM en la creació d'un llenguatge que servís per controlar dispositius gràfics i va ensenyar animació digital a la UCLA¹⁴. Sovint se l'esmenta com un dels primers artistes digitals. Va mostrar públicament la seva obra per primera vegada a Minneapolis durant el SIGGRAPH de l'any 1984.

A les dècades dels 60 i 70 diversos grups d'investigadors van continuar treballant per aconseguir que els ordinadors passessin de ser purament màquines de calcular a eines interactives.

L'any 1962, Ivan Sutherland, un estudiant del Massachusetts Institute of Technology que treballava al Laboratori Lincoln va exposar, a la seva tesi doctoral, un sistema que incloïa una pantalla de vectors que es podien utilitzar amb un llapis òptic per interactuar directament amb els dibuixos titulada A Man Machine Graphical Communication System.

L'any 1963 William Fetter va crear el que es creu que és el primer humà en 3D. Tenia un aspecte de filferro (wireframe) i va ser utilitzat per explorar els paràmetres ergonòmics dels avions comercials de la Boeing.

¹⁴<http://design.osu.edu/carlson/history/tree/whitney.html>



Above: Mechanical analogue plotter draws pilot for computer-animated film by William Fetter of the Boeing Company in Seattle, Washington. Below: Animated sequence from the film. Photo: Boeing Company.

William Fetter. Boeing Man wireframe 1963

Dos anys més tard, l'any 1965, Fetter descriu la seva experiència amb els gràfics d'ordinador mentre treballa a les oficines de la Bell Telephone dient el següent: ... *aquell petit grup de treball era llavors tota la població que treballava fent gràfics d'ordinador i de tots ells jo era l'únic amb un fons artístic i uns estudis en aquesta línia.*¹⁵

Probablement Fetter va ser el primer en establir ponts entre el món dels ordinadors, l'art, l'enginyeria i les comunitats que feien servir els seus models.

L'any 1966 a Elmsford, una ciutat que es troba a prop de Nova York s'estableix, sota la direcció del Dr. Philip Mittelman, una companyia anomenada Mathematical Applications Group Inc. (MAGI) el seu objectiu era estudiar, analitzar, simular i avaluar la propagació de la radiació nuclear. Mentre desenvolupaven la seva feina varen adonar-se que els algorismes que estaven desenvolupant podien ser utilitzats per representar el comportament que té la llum a l'espai. Amb això era possible rastrejar les partícules de llum que es creuen amb un objecte a l'escena. Aquesta idea va ser coneguda sota el nom de *casting ray* i encara avui en dia es fa servir per, en temps de renderitzat, calcular la reflexió i la refracció dels diferents materials que formen part de l'escena¹⁶.

El 1968, Ivan Sutherland i David Evans professors ambdós del departament de ciències de la computació de la Universitat de Utah van crear Evans & Sutherland, firma que ha esdevingut la més

¹⁵ Extret de http://courses.washington.edu/eatreun/html/history/h_nw.html

¹⁶ Extret de http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_Applications_Group,_Inc.

important de tots els temps pel que fa als gràfics 3D ja que va ser allà on es van posar l'estructura dels programaris de modelat tal i com els entenem avui en dia i on es varen establir les bases de les actuals tècniques de texturitzar, de la forma d'il·luminar una escena que representa la tridimensionalitat així com d'alguns dels paràmetres com l'anisotropia o l'especularitat que estan disponibles en ombrejadors que encara avui en dia es fan servir com poden ser el Blinn o el Lambert. Per aquesta firma van passar molts dels que a posteriori van ser fundadors de Silicon Graphics, Adobe, Atari o Pixar¹⁷.

L'any 1972, dins del Mathematical Applications Group que uns anys abans havia creat Philip Mittelman, Robert Goldstein creà un grup específic de recerca, el qual anomenarà SynthaVision, amb l'únic objectiu de desenvolupar un programari específic que serveixi per modelar partícules que es mouen a través de l'espai.

El programari es comercialitzarà sota el nom de SynthaVision i utilitza el modelat de formes sòlides basades en la geometria combinatòria¹⁸ i en algorismes matemàtics. La geometria s'orienta cap a les propietats combinatòries que poden patir objectes simples, en com s'intersecten, en com s'uneixen o en com es tallen per poder obtenir així objectes més grans i molt més complexos. Aquesta tècnica de modelat genera els objectes coneguts actualment com a Lofts o Solevats i és encara avui en dia vigent per generar ràpidament escenaris i objectes tridimensionals molt complexos a partir de la combinació de dues o més formes bidimensionals simples.

L'any 1974 un empresari novaiorquès, el Dr. Alexander Schuré, amb un interès especial pels gràfics d'ordinador i el cinema va crear un centre on els graduats dels departaments d'art i informàtica interessats en desenvolupar eines de modelat digital 3D poguessin treballar i avançar en les seves investigacions. Es tractava del New York Institute of Technology. Dins d'aquest centre hi va crear un laboratori especial, el laboratori de Computació Gràfica i va contractar per portar-lo a Edwin Catmull actual president dels estudis d'animació Pixar i dels Walt Disney Animation Studios.

Tot i que les interfícies de treball de que disposaven aleshores eren d'aspecte aspre, dures i molt reticents a l'intuïcionisme aquest laboratori va esdevenir un dels més importants centres

¹⁷Jim Blinn (investigador de CGL del California Institute of Technology), Pat Hanrahan (Pixar), Jim Clark (fundador de Silicon Graphics i Netscape) i Alvy Ray Smith (Industrial Ligth & Magic)

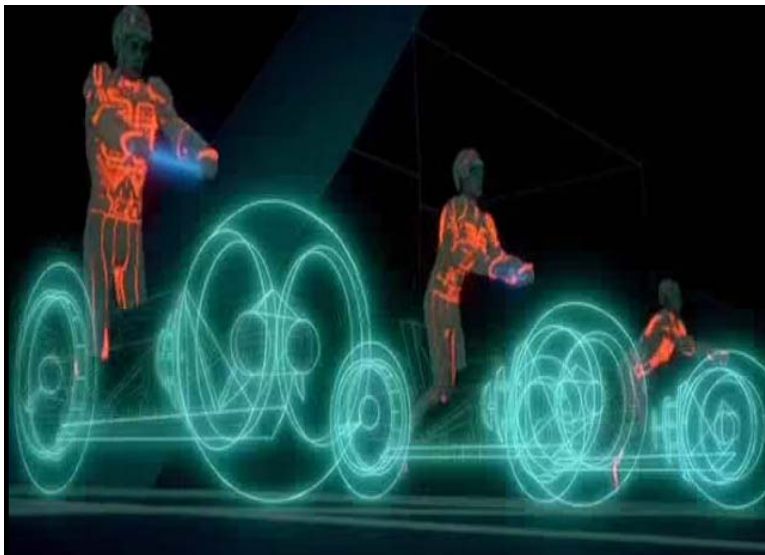
¹⁸La geometria combinatòria és una branca de la geometria que estudia les propietats combinatòries d'objectes geomètrics discrets com ara punts, línies, plans, cercles o polígons.

d'experimentació gràfica i tecnològica i el resultat de les seves recerques es van estendre ràpida i àmpliament.

Durant els anys 70 i 80 el laboratori de gràfics de l'institut tecnològic de Nova York va ser el principal lloc d'innovació dels gràfics amb ordinador. Els membres del laboratori col·laboraven de forma altruista i compartien també de forma altruista els seus avenços tant procedimentals com tecnològics.

L'any 1979 hi va haver un èxode de l'institut tecnològic i Edwin Catmull va ser un dels que va marxar per unir-se amb George Lucas a Califòrnia i fundar la nova Divisió de Gràfics per ordinador de Lucasfilm. La investigació de Catmull per a Lucas es va centrar bàsicament en la recerca d'una solució de maquinari que agilitzes molt més el procés de renderitzat així com en la manipulació i la qualitat final de les imatges. Catmull i el grup que es formà al seu voltant es van separar l'any 1984 i un any més tard, l'any 1985, el grup de gràfics de Catmull es va vendre a Steve Jobs el qual el va incorporar sota el nom de Pixar.

Com a conseqüència de la tasca desenvolupada per Goldstein dins de SynthaVision l'any 1981 Disney demana al grup d'aplicacions matemàtiques que col·labori en la creació de la majoria dels efectes de pel·lícula Tron. Aquesta pel·lícula dirigida per Steven Lisberger, apassionat de la informàtica, s'estrena l'any 1982 i és el primer film que conté imatges 3D generades directament amb ordinador, amb una durada aproximada de vint minuts i amb imatges tan innovadores com la seqüència del Light Cycle.



TRON. Light Cycle Sequence. <https://www.youtube.com/watch?v=GNfs6v7i7eY>

Aquest fet va servir per mostrar a la indústria en general com els gràfics creats amb ordinador podien servir per coses força diferents a les que feien uns quants matemàtics tancats dins d'un laboratori i ensenyar-nos a veure les coses des de punts de vista completament diferents als que teníem fins aleshores.



Fragment del cartell de la pel·lícula TRON. 1982

El film no va tenir un gran èxit comercial, però va portar als estudis de Hollywood, als investigadors de creació de gràfics digitals¹⁹ i als artistes en general a una nova situació davant de la representació gràfica, del modelat i de la manipulació dels models i, tot i que tecnològicament encara estava molt lluny d'arribar, es començava a entreveure que aviat ja no caldria un model físic per poder moure'l sinó que l'ús de models digitals acabaria substituint en gran mesura als models físics. Començava a estendre's i a ser acceptada l'existència de la figura de l'escultor digital.

El febrer de 1986, sis dels components²⁰ de SynthaVision van fundar Blue Sky Studios. Cada membre va aportar-hi el seu propi conjunt d'habilitats però el grup en general i especialment

¹⁹ Aquells que treballaven en la creació de gràfics digitals van ser coneguts des d'aleshores com a Computer Graphics (CG) denominació que encara avui segueix sent comú.

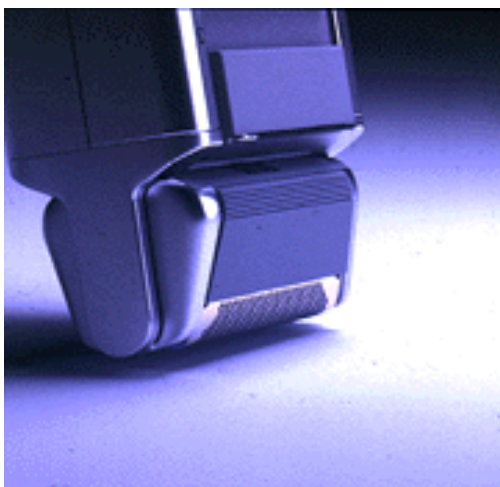
²⁰ Els sis fundadors de Blue Sky Studios van ser Alison Brown, David Brown, Michael Ferraro, Carl Ludwig, Eugene Troubetzkoy i Chris Wedge. Font: <http://blueskystudios.com/our-story>

Troubetzkoy, Ferraro i Ludwig que van ser els que varen desenvolupar el motor de render CGI Studio que es convertiria en el motor més avançat del mercat i que encara hores d'ara, en mans de la companyia japonesa Fujitsu, és dels més utilitzats per a la creació d'imatges fotorealistes.



Una de les primeres proves de render fent servir el codi de Carl Ludwig i Eugene Troubetzkoy. Els colors i la llum capturats en les reflexions de les superfícies i per sota dels objectes mostren la precisió en la simulació de la llum. Imatge de render propietat de Blue Sky Studios. Font: <http://blueskystudios.com/our-story>

Això va fer que entre 1986 i 1996 Blue Sky Studios es convertís en líder mundial en generació d'efectes especials d'alta qualitat i en animació per ordinador especialitzant-se en espots publicitaris per a marques tant conegudes com poden ser Gillette o Braun.



Imatge de l'afaitadora Braun creada amb ordinador per Blue Sky Studios

Aquests resultats fotorealistes aviat van cridar l'atenció de les grans productores de cinema i Blue Sky va començar a col·laborar en films com Joe's Apartment de la Warner Bros (1996) o A Simple Wish de la Universal Pictures(1997).

Blue Sky Studios és en l'actualitat propietat de la Fox i crea les seves pròpies pel·lícules (Rio, Robots, Ice Age) fent ús de personatges animats molt nets de forma i en el més pur estil dels dibuixos animats clàssics. Tot l'estudi està molt lligat al departament de Ciències de la Computació (Computer Science) de la Universitat de Columbia on hi donen classe molts dels seus modeladors i animadors.

Un dels modeladors més qualificats de Blue Sky Studios, Dave Dibble²¹, es va formar com a dibuixant i il·lustrador tradicional. Dibble, referint-se al fet de dibuixar va dir en una ocasió:

*Sovint pensem que sabem com són les coses que ens envolten però poques vegades les mirem i estudiem. En conseqüència, només les entenem com un estereotip superficial que repetim una i altra vegada. El dibuix de la figura humana té a veure realment amb les relacions, les mesures i les proporcions. Si mirem més profundament veurem que igual que la roba es penja en un cos a causa del que està per sota, la pell sovint reflexa els músculs que estan per sota els quals al seu torn es basen en un esquelet que els hi fa d'estructura. Veure tots aquests sistemes junts i com estan relacionats entre ells ajuda a entendre no només el funcionament del cos humà sinó també les altres estructures formades per capes.*²²

²¹ Dave Dibble es va iniciar en les arts a l'Scuole Internazionale di Grafica de Venècia, després va anar a la Brigham Young University on va obtenir el BFA (Bachelor of Fine Arts) en l'especialitat d'il·lustració. Va finalitzar els seus estudis a l'Academy of Art University in San Francisco on va obtenir el MFA (Master of Fine Arts) també en il·lustració.

²² Font: <http://blueskystudios.com/blog/entry/benefits-figure-drawing>

Una mica d'història de l'anatomia

Les primeres representacions de les formes anatòmiques les trobem en l'home prehistòric. Aquest home expressa i grava la forma de les coses que es troben al seu voltant amb resultats sorprenentment originals. Així doncs podem dir que l'il·lustrador prehistòric és el primer anatomista conegut i que el seu èxit va ser el resultat de la curiositat nativa i el poder de conservació combinat amb la capacitat i la necessitat de representar allò el que tenia al seu voltant.

L'origen de l'anatomia tal i com la coneixem avui en dia es remunta a l'antic Egipte i a la Xina on es tenien grans coneixements del cos per les pràctiques de momificació dels cadàvers que s'hi practicaven. Egipcis i assiris van ser els primers a esculpir cossos amb representacions anatòmiques. Eren escultures de formes força fidels a la realitat en les que s'hi poden veure excel·lents representacions anatòmiques de la musculatura superficial del personatge.



Estàtua de Ramses II. Museu de Memphis

La principal preocupació que tenien tant uns com els altres era la representació de personatges importants, escenes i esdeveniments significatius del moment, de manera que l'objectiu era la creació d'un efecte realista i això fa que algunes figures incorporin molts detalls amb gran quantitat de significat anatòmic com és el cas per exemple del *Home amb la cama esguerrada* que es troba actualment a la NY Carlsberg Glyptoteca de Copenhague.



Home amb la cama esguerrada. NY Carlsberg Glyptotek. Copenhague

En aquest baix relleu es pot veure un jove príncep egipci que mostra una lesió a la cama. A aquesta obra en concret es refereix el Dr. Arthur H. Bubulian quan en el seu estudi *Art in the Service of Anatomy*²³ diu que l'artista no només va aconseguir fer una representació efectiva de l'esdeveniment sinó que també va proporcionar pistes als historiadors mèdics de que en aquells temps ja podia haver existit la poliomièlitis.

La contribució de l'art a la figuració anatòmica s'incrementarà encara més amb les escultures gregues, un exemple clar el trobem en el Dorífor de Policlet.

El Dorífor, en l'imaginari col·lectiu, és l'encarnació del cànon clàssic. L'escultura aplica per primera vegada el sistema de proporcions ideal per un cos i els estudiosos del tema no es van posar d'acord

²³Arthur H. Bubulian va publicar *Art in the Service of Anatomy* en el Fifty-ninth Annual Meeting of the Medical Library Association (KansasCity, 1960) coincidint amb l'època en era el director del Museu de la higiene i la medicina de la clínica Mayo i de la fundació Mayo. Rochester, Minnesota

sobre quina era la mesura base. Les primeres teories diuen que era la falangeta del dit petit i gràcies a aquesta podies fer un càlcul de totes les altres mesures del cos. Però Policle, en el seu Kanon, va deixar establert que l'altura total de la figura hauria de ser la del seu cap multiplicat per set²⁴.



El Dorifor de Policle del Museu Arqueològic Nacional de Nàpols. Còpia romana feta amb marbre. D'aquesta obra no se n'ha conservat l'original que era de bronze. Només han arribat fins a nosaltres còpies romanes fetes en marbre.

Des d'Hipòcrates (460-370 aC) fins Galè (130-200 dC), dels quals es considera que són els pares de la medicina, es va escriure força sobre la naturalesa del cos humà sense examinar l'anatomia real del propi cos humà.

²⁴ Policle va establir que l'alçada perfecta d'una figura humana era set vegades la mesura del seu cap. Durant el segle anterior el cos humà s'havia representat en base a proporcions més esveltes (l'Apoxyómenos de Lisip, o l'Hermes de Praxíteles poden ser-ne exemples). Aquesta esveltesa correspon a un cànon de vuit caps. Segons Plini el Vell els artistes del segle V (Miró, Fídies o Policle) haurien representat l'home tal com és mentre que els del segle IV (Praxíteles, Scopas o Lisip) l'haurien representat tal com l'ull el veu.

No va ser fins el Renaixement quan es va desenvolupar l'anatomia gràcies a aportacions com les de Leonardo (1452-1519) i especialment a partir d'Andreas Vesalius (1514-1564) que l'any 1543 va publicar una col·lecció de set llibres sobre anatomia humana sota el nom de *De humani corporis fabrica* els quals contenien molts dibuixos detallats de disseccions humanes, sovint en posis al·legòriques.

Aquesta col·lecció de llibres es basa en les conferències que va fer ell mateix a Pàdua, durant les quals no va fer cap dissecció de cap cadàver, pràctica comuna aleshores, sinó que es va limitar a il·lustrar amb dibuixos allò que estava explicant. Les disseccions havien estat prèviament realitzades per un cirurgià barber²⁵ sota l'atenta mirada d'un metge de medicina.

En aquesta obra Vesalius presenta un examen força acurat dels òrgans i de tota l'estructura completa del cos humà. Això no hauria estat possible sense els avenços que s'havien fet durant el Renaixement incloent-hi tant els desenvolupaments en la representació de la realitat com el desenvolupament tècnic i el refinament de la tècnica d'impressió la qual va permetre fer còpies precises de les planxes de gravat xilogràfic en que es feien les il·lustracions.



Portada del llibre setè de l'obra "*De humani corporis fabrica*" d'Andrea Vesalius

²⁵ Que en el segle XVI els barbers fessin de cirurgians era un fet normal ja que la medicina d'aleshores estava basada encara en les teories de Galè i no es contemplava la cirurgia com a part pròpia de la medicina sinó com un ofici més que podia exercir qualsevol que tingués prou traça a l'hora de fer anar una navalla.

La invenció al segle XVII del microscopi compost va donar lloc al desenvolupament de l'anatomia tal com l'entendem avui en dia, dividida en dues grans faccions: l'anatomia macroscòpica i la microscòpica la qual es va dividir en la histologia que és l'estudi dels teixits i la citologia que estudia les cèl·lules. Així doncs actualment l'anatomia implica un examen profund de l'estructura dels cossos des de diversos punts de vista que engloben els estudis anatòmics de les cèl·lules amb tipus diferents de microscopis i mètodes i, dels òrgans per observació simple. Aquest treball mostra l'anatomia només des d'aquesta darrera perspectiva, des de la perspectiva macroscòpica.

En aquest treball doncs ens centrarem en l'anatomia macroscòpica i concretament en la definició que l'any 1998 feia del cos humà John V. Basmajian en el seu llibre *Primary Anatomy*.

Basmajian defineix el cos humà com un conjunt compost per un sistema esquelètic, un sistema muscular, uns òrgans interns, la pell i les capes de greix. Segons la seva definició del cos humà el sistema ossi i el sistema muscular formen el conjunt múscul esquelètic el qual serveix per protegir, donar suport i moure el cos. Basmajian fa també dues grans diferenciacions entre la forma i la mida d'un cos: la forma del cos ve determinada principalment per la quantitat de la massa muscular i de greix mentre que la mida ve determinada per l'esquelet.

Les estructures anatòmiques

Tal i com ja s'ha dit fins ara l'aspecte i representació de moviments realistes del cos humà és una gran àrea d'estudi que afecta a molts camps, d'acord a això centraré la meva tasca en la representació de les diferents formes que prenen cadascuna de les parts del cos humà quan es produeix un determinat moviment.

Així doncs el que tractaré principalment serà per una banda els músculs externs del cos i per una altra l'esquelet ossi. Ambdós elements creen ja de per sí una complexa estructura que és la que permet que existeixi la locomoció i per tant són els principals responsables dels canvis d'aspecte que pren la forma externa del cos, és a dir a la pell.

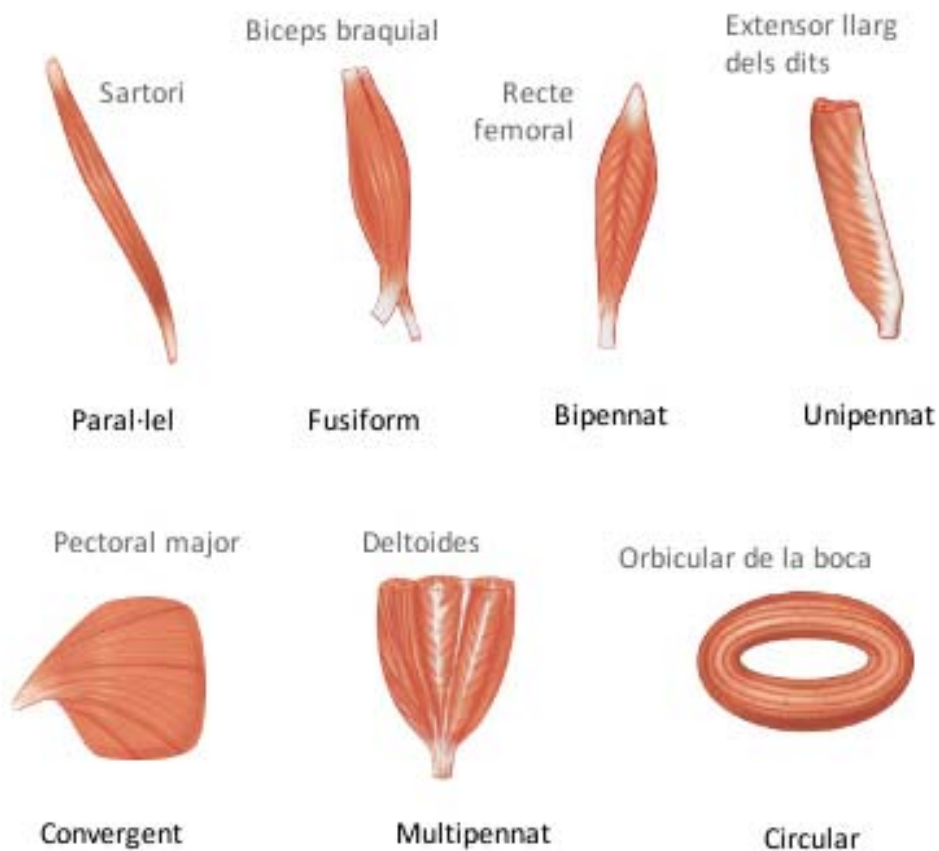
Si pensem en els agents que intervenen en la creació del moviment humà serà fàcil veure que en la creació del moviment hi intervenen dues grans estructures, una d'activa que no és altra que el sistema muscular i una de passiva que és la que es correspon amb el sistema ossi.

Ambdues estructures treballen juntes de forma cohesiva i eficient. Els ossos al seu torn creen un esquelet que proporciona suport estructural a la musculatura al mateix temps que actuen com a protectors dels òrgans vitals, l'exemple més clar d'aquesta funció protectora és la caixa toràcica. La musculatura al seu torn conforma un complex sistema de palanques que permet la locomoció mitjançant l'aplicació de forces.

Les estructures actives: els músculs

Els músculs es consideren estructures actives ja que són capaços de generar forces. Els músculs tenen una estructura basada en fibres musculars les quals poden tenir diferents orientacions. Aquestes orientacions descriuen l'angle amb que el tendó fixarà el múscul esquelètic a l'os. La disposició d'aquestes fibres musculars és el que es coneix com pennació del múscul i és la disposició d'aquesta pennació muscular la que determina la direcció de les forces que produirà el múscul.

Els tendons són els encarregats de transmetre a l'os la força generada pel sistema muscular per tal que això sigui possible la part externa del tendó connecta el múscul a l'os, mentre que la part interna del tendó, anomenada també aponeurosis, és la que es fixa al múscul. Els tendons queden doncs com a part del propi múscul conformant un únic cos donat que un és estretament dependent de l'altre.



En relació amb els músculs, els tendons però són molt més rígids i forts. A causa de l'alineació de les fibres pròpies del tendó la tensió d'aquest es produeix sempre longitudinalment al llarg del tendó. Això permet que les forces generades per un múscul puguin aplicar-se i ser transmeses a

una àrea diferent del lloc físic on es troba el propi múscul del tendó. Un exemple clar d'això són els tendons dels dits de les mans els quals s'uneixen a l'avantbraç.

L'any 1999 Nigg i Herzog van publicar un estudi²⁶ segons el qual en condicions de funcionament normal un tendó no ha de permetre deformacions superiors al 5% ja que a partir d'un 8 % de deformació els tendons poden començar a experimentar deformacions irreversibles i per tant a experimentar danys.

Vist això podríem dir que aquesta és una estructura múscul-tendinosa la representació i simulació de la qual implicarà que fem el que fem quan produïm l'animació, haurem de tenir sempre present que les zones corresponents a superfícies tendinoses sempre siguin molt més rígides que les zones cobertes exclusivament per teixit muscular²⁷. Per tant les àrees on el tendó està en contacte amb el múscul hauran de patir menys deformació en comparació amb les zones lliures de tendons que són les que hauran de variar més i fer més evident així la representació del moviment.

Les estructures passives: els ossos

Entenem com a estructures passives aquelles parts del cos que no pateixen canvis ni generen cap mena de força quan realitzen un moviment. La gran estructura passiva del nostre cos és per tant l'esquelet ja que aquest no pateix variació com a conseqüència directa de la seva rigidesa.

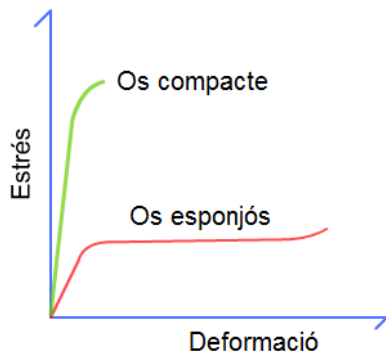
Els ossos constitueixen l'estructura esquelètica a la qual s'uneixen els músculs, els tendons i els lligaments. En l'esquelet d'un humà adult hi ha 206 ossos els quals podem considerar com a objectes rígids ja que sota conceptes purament físics, els ossos són molt més rígids que els músculs amb limitacions d'estrès la qual cosa fa que l'excés d'aquest provoqui fractures. Per aquesta tesi partiré del supòsit que els ossos dels models es troben en condicions normals ja que no tinc coneixements suficients per poder aplicar amb correcció el valor d'estrès a que pot estar sotmès cada os fins que no es produeix la fractura. A més d'això, tal i com defineix Young²⁸, aquest valor

²⁶ L'estudi va publicar-lo l'editorial especialitzada en continguts acadèmics John Wiley & Sons Inc. amb el títol de **Biomechanics of the musculoskeletal system**.

²⁷ Això es fa durant el procés d'skinning del model mitjançant l'assignació del grau d'afectació de cada vèrtex respecte a un determinat os de l'esquelet funcional.

²⁸ El mòdul de Young o model elàstic longitudinal estableix la relació entre la tensió i la deformació de un os. La resistència a la tracció d'un fèmur humà segons el seu model és de $16 \cdot 10^6$ Newtons partits per metre quadrat. La resistència de compressió del mateix os seria de $9.4 \cdot 10^6$ Newtons partits per metre quadrat.

d'estrès varia d'un individu a un altre en funció de diversos factors com poden ser l'edat, el sexe o l'alimentació.



Corbes d'estrès i deformació per a un os compacte i un d'esponjós. Font: Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. Ciudad de la Habana, 2011. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002011000100012

Antropometria i esquelets funcionals

L'antropometria és la ciència que estudia sistemàticament la variabilitat de les mesures del cos humà. La recopilació sistemàtica de les mesures antropomètriques ha fet possible una varietat d'investigacions estadístiques de grups de subjectes, la qual cosa proporciona informació útil per al disseny de productes, com ara roba, calçat, equip de seguretat, mobles, vehicles i altres objectes amb els quals les persones interactuen.

Va ser des de la antropometria que es van introduir per primera vegada les representacions humanes en els gràfics per ordinador amb el model de Fetter per a la Boeing. Des d'aleshores nombrosos investigadors han treballat en l'aplicació de les dades antropomètriques per tal d'aconseguir creacions automatitzades d'humans virtuals.

El full de càlcul sistematitzat d'escales antropomètriques SASS²⁹ presentat l'any 1993 per Francisco Azuola³⁰ professor de la Universitat de Pennsilvania va permetre crear models humans els quals podien ser manipulats a través d'un sistema d'animació anomenat Jack³¹. Aquest sistema crea un model humà estandarditzat basat en una població estadística prefixada. També permet establir les mesures d'una persona donada i a partir d'aquí pot crear directament d'un model humà virtual que tingui les mesures donades prèviament. En el primer cas, el programa genera automàticament les dimensions de cada segment (corresponen a cada os) de la figura en base a les dades de població subministrades com a entrada.

En aquest sistema el model virtual inicial estava compost de trenta-un segments dels quals vint tenien representació volumètrica. Per a cada estructura de segment amb representació volumètrica, es consideraven tres mesures: la longitud, l'ample i el gruix del segment que fa d'os.

²⁹ SASS són les sigles del Spreadsheet Anthropometry Scaling System.

³⁰Francisco Azuola és professor del departament d'informàtica i ciències de la computació de la universitat de Pennsilvania. Philadelphia

³¹Jack va ser desenvolupat al centre de Modelat i Simulació Humana a la Universitat de Pennsilvania durant els anys 80 i 90 i, estava concebut com una avaluació ergonòmica i sistema de prototipat humà virtual per a la NASA com a ajuda al disseny del transbordador espacial. Aquest sistema només era operatiu en estacions de treball de Silicon Graphics.

Aquests mesuraments van ser compilats a partir del manual de sistemes d'integració de la NASA³² i del llibre d'antropometria³³ publicat per la mateixa agència aeroespacial.

Des dels models d'Azuola fins a avui en dia els esquelets virtuals han variat força i s'han ajustat molt més donant molta més llibertat al dissenyador per tal que pugui ajustar-se a les variacions que pot haver-hi entre individus i, deixant de banda algunes diferències com les ja esmentades dels graus de llibertat de les articulacions, es poden obtenir fàcilment models en els quals i hagi grans correspondències entre els esquelets reals i els seus homònims sintètics.

Així doncs actualment la creació d'un esquelet funcional per a un personatge només depèn dels nivells d'articulació i dels efectes d'animació que es cerquin. Els esquelets actuals permeten definir les connexions que hi haurà en funció de la quantitat d'ossos virtuals que continguin. Per fer animacions d'humans i humanoides els esquelets funcionals actuals segueixen la norma H-Anim³⁴ la qual defineix el tipus de segments, les articulacions i les quantitats de rotació d'un cos humà. La relació existent entre ells s'obté de la base de dades mesurades en humans reals del projecte CAESAR³⁵.

Els esquelets virtuals s'utilitzen per deformar la malla del personatge ja que tot i que és possible animar cada vèrtex d'un model per separat, en el cas figures amb centenars de milers de vèrtex

³²Man-Systems Integration Manual (NASA-STD-3000)

³³The Anthropometry Source Book. Ref. publicació: 1024

³⁴ Humanoid Animation (H-Anim) és un estàndard ISO aprovat per al modelat i animació d'humanoides. H-Anim relaciona una especificació per definir figures humanes intercanviables de manera que aquests personatges es poden utilitzar en una gran varietat d'entorns 3D i en simulacions. La norma H-Anim va ser desenvolupat a finals dels anys 90 sota les influències d'experts en la indústria gràfica, l'ergonomia, la simulació, els jocs i especialment y pel sistema de simulació humana Jack.

³⁵ CAESAR (Civilian American and European Surface Anthropometry Resource) és un estudi de les mesures del cos de persones d'entre 18 i 65 anys fet en tres països: EUA, Països Baixos i Itàlia. Es tracta d'una col·laboració entre els estaments governamentals d'aquests països i moltes indústries. Per fer-lo es va emprar l'última tecnologia de mesurament 3D. És la primera base de dades 3D d'un estudi antropomètric fet als EUA i Europa. Les dades de l'estudi permeten dissenyar amb eficàcia tot allò que fa referència al cos humà, des de roba a equips de protecció, des de sabates a pròtesis ortopèdiques. Al mateix temps també permet reduir els costos tant en de la fase de disseny com en la de creació del producte.

aquest procediment és pràcticament impossible de dur a terme. Per contra el que sí que és factible és la incorporació d'esquelets funcionals a l'animació de forma que permetin connectar cadascun dels vèrtexs de la malla a l'os u ossos corresponents de l'esquelet virtual. Aquest fet serà el que provocarà que qualsevol canvi de posició de l'os afecti directament als vèrtexs vinculats i aparegui aleshores el moviment.

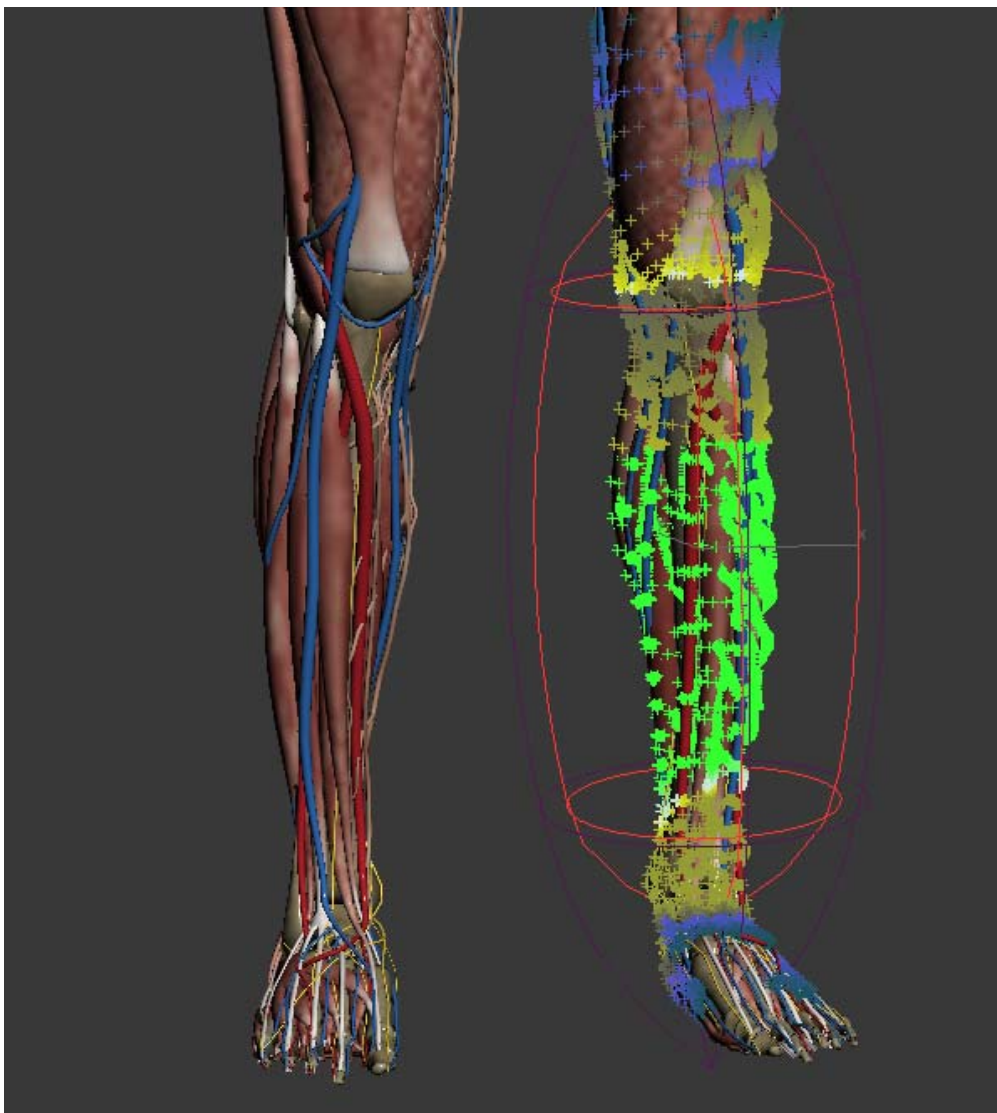
Aquesta és la forma més habitual d'animar personatges el problema més difícil que té aquest mètode és trobar i ajustar correctament les correspondències entre vèrtexs i els ossos i això no ha estat completament resolt encara. Els artistes creen (creem) models humans d'acord als coneixements que cadascú té sobre el model i les deformacions del cos. La manera que s'utilitza més sovint, especialment quan es cerquen resultats precisos, és fer l'assignació de vèrtexs de forma completament manual.

La forma habitual de treball és que en l'inici del procés l'animador faci una assignació automàtica amb els modificadors de pell adequats que per exemple en el cas de l'Autodesk 3Ds MAX (que és el programari que s'ha fet servir per crear el models d'aquesta tesi) són el Physique o l'Skin. A partir d'aquí l'animador disposa d'un conjunt d'eines que ha de fer servir de forma manual per corregir els errors d'assignació que hagin produït. Aquest procés té a més l'inconvenient que no pot traslladar-se d'una malla a una altra com tampoc pot adaptar-se de forma completament automàtica si després de l'assignació es fa un suavitzat de malla amb la conseqüent pèrdua de massa i increment de vèrtexs. En fer aquest procés de treball, conegut com a skinning, és habitual unir els vèrtexs als ossos més propers, però en els models desenvolupats sembla que això no funcionava massa correctament en algunes posicions.



Model de la dona en posició normal i flexionant les cames. Pot observar-se com molts dels vèrtexs d'aquesta part del cos necessiten d'un pesat de vèrtex manual.

Quan les aberracions són tant elevades com és el cas de la imatge anterior, per comptes d'haver d'anar pesant els vèrtex un a un és molt millor treballar d'una forma molt més generalitzada. Això pot fer-se mitjançant el que es denomina embolcalls de l'os. Els embolcalls son zones de major o menor afectació d'un os sobre un conjunt de vèrtexs. Això, que pot ser molt útil a més de força definitiu en el cas de malles simples com poden ser models de robots o personatges cartoon, crea també aberracions força evidents en models que cerquen ser fidels a la realitat amb la qual cosa tot i ajudar molt no pot donar-se com a procés definitiu sinó que precisarà també d'un posterior reajustament dels pesos dels vèrtex.



Embolcall de la part inferior de la cama del model de dona

Recentment el problema de del modelat i l'animació realistes s'ha abordat des de l'òptica de tècniques de creació de models interpolats basades en imatges. Aquestes tècniques encara estan en fase de desenvolupament i per tant no són adequades per a totes les aplicacions ja que avui per avui un enfocament que cerqui únicament imatges fixes de tall realista pot aconseguir resultat força bons. Això però canvia completament a partir del moment en el qual volem convertir aquest objecte 3D estàtic en un objecte que tingui moviment.

Un cop identificades les mancances i els problemes anteriors podríem dir que idealment la deformació superficial provocada per un esquelet funcional hauria de tenir les següents característiques:

- L'esquelet funcional hauria de controlar el model de forma global i alhora tractar cada zona anatòmica com un cas especial.
- L'esquelet funcional hauria de ser prou versàtil per poder-hi adaptar fàcilment nous models, amb una intervenció nul·la o pràcticament nul·la de l'animador, sempre i quan aquests tinguin la mateixa estructura anatòmica tot i que puguin variar aspectes de dimensionat d'aquesta estructura.
- L'esquelet funcional hauria de fer possible especificar mescles de deformacions de diferents models creades seguint mètodes d'interpolació suavitzada per poder crear així rangs més llargs de moviment.
- Cal que els usuaris puguin visualitzar models creats en alta resolució en temps d'espera raonables.

Models humans virtuals

Els models humans virtuals representen només una fracció del un conjunt dels aspectes anatòmics i biomecànics d'un humà real. En els models virtuals s'escala la informació en funció de la finalitat i el nivell d'abstracció que es cerca. Això fa que el focus principal del modelat estigui centrat en la construcció d'un model que representi un humà de grandària mitjana i posseeixi una flexibilitat i un rang de moviments similars als d'un adult sa, de mitja edat, de formes geomètriques realistes, amb una representació acceptable i el més ajustat possible al sistema articular d'un humà real.

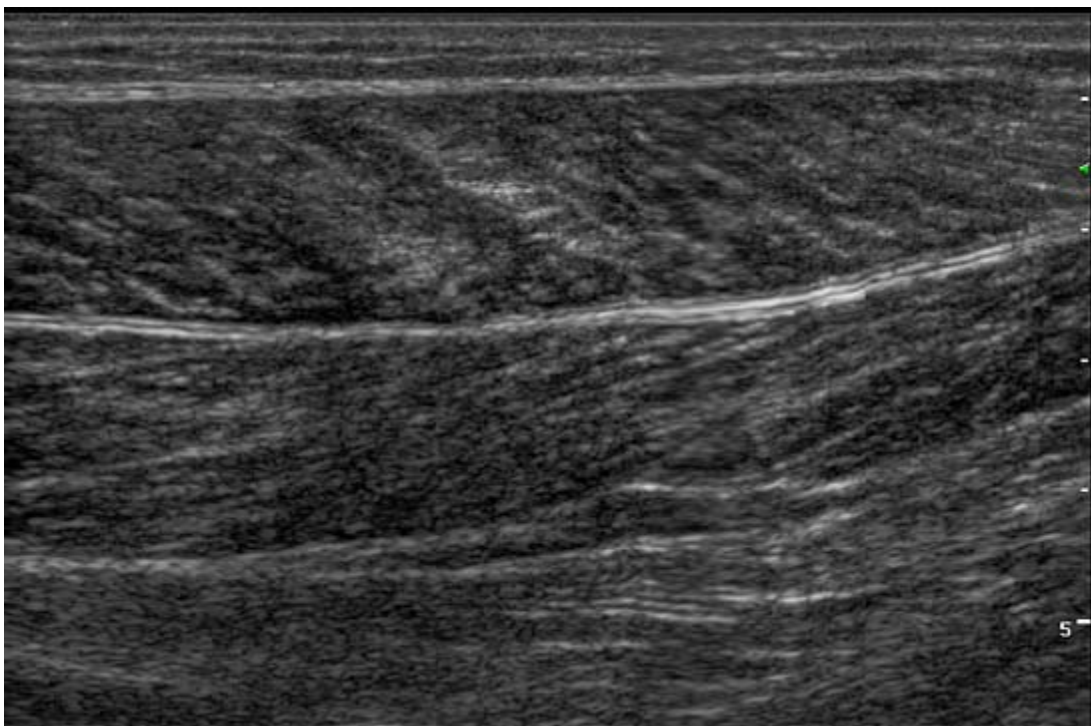
Les tècniques desenvolupades en el camp de la robòtica s'utilitzen sovint pel modelat i pel control de les articulacions en models humans. Quan s'utilitzen articulacions de robot per modelar juntes en un model humà les articulacions es poden definir únicament pels seus propis mecanismes d'articulació. Aquests mecanismes estableixen els vincles entre els segments definits en coordenades locals però perquè el model d'humà es comporti correctament a banda de que la localització i el tipus d'articulacions han d'estar situades de forma adequada cal també especificar no només els graus de llibertat que ja s'havien esmentat en apartats anteriors sinó també els límits d'articulació adequats en cada cas.

Perspectiva anatòmica dels models sintètics

Els anatomistes estan interessats en l'exploració de la relació entre la forma i la funció dels teixits del cos. A més del moviment bàsic i de la locomoció els músculs són importants des d'un punt de vista expressiu ja que contribueixen activament a la creació d'expressions facials, a la gesticulació i al llenguatge corporal. Una musculatura tensa transmet por o estrès mentre que una de massa laxa es propensa a transmetre senectut i casament.

En el cas concret dels músculs, els anatomistes necessiten examinar la disposició de les fibres musculars, dels tendons i dels lligaments en la determinació del seu paper funcional en el manteniment de la postura del cos, en la creació de moviment de les extremitats i en com tots aquests elements es relacionen, interactuen entre ells i ho fan també amb l'esquelet que és el que ho sustenta tot. Això posa en relleu la necessitat de disposar d'un model amb representació tridimensional per tal de poder visualitzar la disposició d'aquestes estructures i la seva influència en la forma global del cos.

Tradicionalment els anatomistes han estudiat l'estructura muscular mitjançant l'examen de cadàvers i els registre sistemàtic de les mesures de longitud i orientació de les fibres musculars. Donat que l'estudi es produeix en un cadàver el teixit muscular està sempre inactiu i conseqüentment és impossible observar la contracció que patiria un múscul actiu davant d'una acció determinada. Vist això doncs podem afirmar que la millor eina disponible per a l'observació de les elongacions i contraccions musculars són imatges d'ultrasò dels vius. Aquesta tecnologia però està sempre subjecta per una banda al soroll de les pròpies imatges i per una altra a la restricció del punt de vista que té l'usuari i el qual generalment es troba situat fora del cos.



Imatge d'ultrasò d'un múscul esquelètic de la cama. Font: <http://www.chison.eu/es/Productos/Expert.html>

Com ja hem vist en apartats anteriors, l'arquitectura del múscul no és un simple cas d'un grup de fibres musculars que s'executen en paral·lel d'extrem a extrem. Un sol múscul pot tenir diverses regions i diferents de fibres, cadascuna amb les seves pròpies orientacions. És per això que un model funcional del sistema muscular ha de permetre un estudi més detallat de la relació existent entre l'orientació de la fibra i, la magnitud i direcció de les forces rebudes i/o generades. Això és important per conèixer com diversos músculs treballen dins del cos i les funcions exactes que presten a cada moment.

A nivell de modelat, els músculs es poden treballar en 3D amb força precisió a partir de les imatges ja contingudes en el Visible Human Project ³⁶.

Visible Human Project va ser un projecte a llarg termini de la US National Library of Medicine que va iniciar-se l'any 1986. Aquest projecte cercava la creació de representacions tridimensionals completes i anatòmicament detallades d'un home de talla mitjana així com dels òrgans i les parts del cos d'un cos femení que difereixen del cos masculí. Per obtenir aquestes imatges els cossos masculins es van seccionar completament a intervals d'un mil·límetre i pel de dona els cossos van ser seccionats a raó de tres seccions per mil·límetre³⁷.

Perspectiva biomecànica dels models sintètics

La biomecànica estudia la força que impulsa la locomoció animal. Tracta així de respondre a preguntes com per exemple com s'ho fa el sistema nerviós per coordinar les activacions musculars que produeixen el moviment. Amb aquesta informació a l'abast es poden desenvolupar sistemes que millorin el rendiment físic o ajudin a evitar accident i lesions.

Encara que hi ha estudis biomecànics que han estudiat la locomoció no humana, la majoria dels estudis s'han centrat en les particularitats del cos humà. Una anàlisi complet del cos humà implica un sistema físic que consta d'aproximadament 206 ossos i 600 músculs en un adult estàndard. La quantitat de càlculs que això genera en una simulació de cos sencer és tant gran que a no ser que sigui en ordinadors molt potents, aquestes simulacions estan fora de l'abast de la majoria de la població. En conseqüència, tots els treballs previs que trobem en aquest sentit consisteixen en la creació de models múscul-esquelètics o múscul-tendonals aïllats que centren l'atenció en subsistemes com poden ser les extremitats superiors, el tors o les extremitats inferiors però que en cap cas en fan un anàlisi de cos sencer.

Prenent el que hi ha fins ara com a referent hom podria pensar que no té sentit plantejar un model de cos sencer per fer simulacions però res més lluny de la realitat ja que aprofitant les avantatges de l'streaming de malla, cosa que sembla que ja és una realitat segons es planteja en estudis com el

³⁶ L'objectiu a llarg termini del Visible Human Project és produir un sistema d'estructures de coneixement que de forma simple i clara permeti vincular formes de coneixement visuals amb formes simbòliques.

³⁷Visible Human Project està disponible en aquesta URL:
https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nlm.nih.gov%2Fresearch%2Fvisible%2Fvisible_human.html&ei=2JFrVLaqC8HLaJXSgvAC&usq=AFQjCNGKasDirXWU1k6oh9mlOK3pNptaew&sig2=VoeWlUveot4oY1Z1xqLDlw&bvm=bv.79908130,d.d2s

de Martin Isenburg i Peter Lindstrom³⁸ de forma que s'evita la sobrecàrrega computacional. Si l' streaming de malla s'implementa com ho ha fet el de dades de vídeo o d'àudio, serà possible realitzar múltiples simulacions de cos sencer fins i tot en el supòsit que els models actuals es poguessin ampliar fins a poder-hi incloure tots els paràmetres i característiques físiques de cada múscul i les possibles variacions que poguessin haver-hi per raó de sexe, mesura, pes o raça.

El fet doncs de poder disposar d'un model anatòmic detallat que incorpori les geometries orgàniques i musculars permetria un estudi funcional mitjançant l'ús d'eines eminentment gràfiques.

Perspectiva del disseny dels models sintètics

La possibilitat d'incloure els humans en l'animació per ordinador ha poblat els regnes digitals amb personatges interessants. Igual que passa en l'animació clàssica per simular la il·lusió de la vida d'un personatge, l'animador ha de descompondre tots els moviments del propi personatge en un conjunt d'imatges fixes que són les que, posteriorment, altre cop seriadades conformen el moviment.

Amb l'ajut de la digitalització és possible veure la trajectòria de qualsevol part del cos, podem veure com canvia el centre de masses quan un cos salta, quan camina o quan corre i analitzar així com afecta això a la resta dels elements del cos. Podem veure a partir de quin punt es perd l'equilibri o com podem ajustar més un moviment o una acció concreta per fer que l'espectador fixi la seva atenció allà on nosaltres volem que ho faci.

Els personatges sintètics aplicats al cinema i a l'entreteniment ofereixen moltes avantatges ja que tots ells es poden controlar directa i còmodament per un operador humà sense la imprevisibilitat associada a riscos d'accidents o les dificultats potencials associades a determinades escenes d'acció. Amb el coneixement suficient de les configuracions anatòmiques es factible dissenyar criatures que tot i ser de ficció tinguin estructures similars a anatomies humanes per poder dotar-les així de major credibilitat en els seus moviments. Tot i que amb els nous motors gràfics el panorama va canviant, a l'àrea d'entreteniment encara es posa més èmfasi en la precisió visual que no pas en la correcció física o en l'arquitectura muscular. No obstant això, un enfocament inspirat en models anatòmics reuneix diversos avantatges sobre altres mètodes donat que per una banda permet crear plantilles a través de les quals és molt més fàcil crear personatges que tinguin

³⁸ Aquest estudi va ser publicat l'any 2010 per la Universitat de Carolina del Nord amb el nom d'*Streaming meshes*

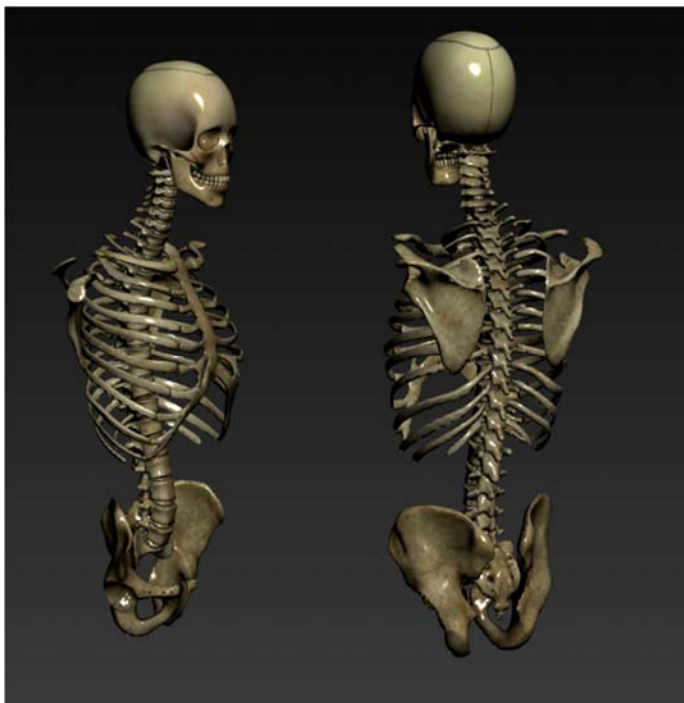
correspondències amb l'usuari final i per una altra fa possible que aquest usuari pugui personalitzar el seu avatar i quedi així molt més fidelitzat al joc o a l'aplicació que s'estigui fent servir.

Segmentació geomètrica d'un esquelet funcional

La segmentació geomètrica de l'esquelet funcional del cos humà es basa en l'estructura de l'esquelet. Aquest és sense cap mena de dubte el tipus de segmentació que millor funciona per simular el moviment esquelètic però no obstant això, si el que volem és simular la deformació geomètrica, la geometria de la segmentació es basa més en aspectes musculars que no pas en l'estructura esquelètica.

En anatomia humana, un esquelet es divideix en seccions axials i apendiculars. De la mateixa forma a com l'estructura muscular difereix entre aquestes dues seccions també ho fa la deformació que pateix el cos a l'hora de realitzar un moviment.

L'esquelet axial consisteix en la pelvis, el tors, el coll i el cap. En el model d'esquelet funcional cada vèrtebra és considerada com un segment únic. No obstant això els músculs normalment creuen diversos segments, és a dir diverses vèrtebres.



Esquelet axial d'ambdós models

Quan els grups musculars es contrauen o es relaxen tots aquests segments es deformen. El resultat d'aquesta deformació és una superfície contínua que descriu la forma no de músculs individuals sinó de grups musculars.



Múscul espinós del dors (espinós de la nuca) i múscul complex menor. Pot observar-se com ambdós músculs, corresponents a la secció axial travessen diverses articulacions abans no queden ancorats a l'esquelet.

L'esquelet apendicular conté els ossos d'apèndixs lliures que són les extremitats superiors, les inferiors i les zones que connecten amb la secció axial. A diferència dels músculs axials, els músculs apendiculars només creuen una articulació. El canvi de forma causat per aquests músculs normalment es limita a la zona del voltant de l'articulació la qual cosa fa que els resultats d'aquesta deformació siguin més evidents que els de la deformació axial.

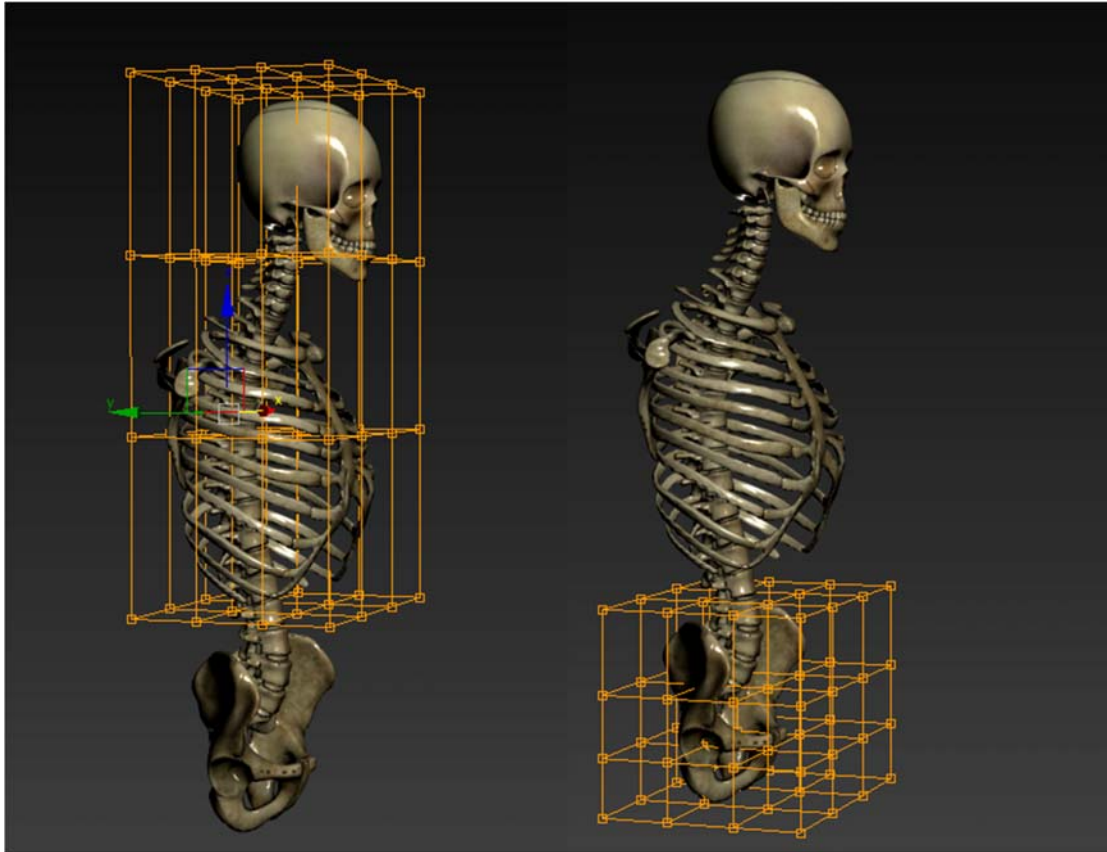


Múscul soli. Pot veure's com en aquest cas el múscul només travessa una articulació.

Articulacions axials

Hi ha dos tipus d'articulacions axials, dependents i independents. Les articulacions que connecten els segments de la columna vertebral són dependents. A causa de l'estructura muscular aquestes articulacions sempre es mouen com un grup. Les articulacions que connecten la clavícula són independents, ja que es poden moure independentment de les articulacions de la columna vertebral. No obstant això donat que els grups de músculs que controlen els moviments de les clavícules estan connectats a les vèrtebres, la geometria de les clavícules també està influenciada per les articulacions de la columna vertebral.

En els models creats hem assignat dues malles de control a la secció axial. La malla inferior controla la zona inferior del tors en el qual la geometria canvia només quan les articulacions de la columna vertebral canvien. La malla superior controla tota la part superior, en aquesta regió, el moviment de la columna vertebral i el moviment de l'espatlla afecten a la deformació de la geometria.



*Free Form Deformers 4*4*4 de caixa creats pel control de moviments de l'esquelet axial*

Les articulacions axials són fibroses o cartilaginoses. Les articulacions fibroses estan unides entre sí per teixits molt durs i amb poca flexibilitat, és el cas de les articulacions de l'esquena i del sacre. Les cartilaginoses són més flexibles gràcies a la presència del cartílag. L'articulació més important d'aquesta mena que tenim al cos humà és la que uneix l'estèrnum amb les costelles.

Articulacions apendiculars

L'estructura de l'esquelet apendicular conté diversos tipus d'articulacions i tot i que alguna d'aquestes articulacions és fibrosa com és el cas del turmell, la majoria són sinovials³⁹ i tenen

³⁹Trocleartrosi o articulacions frontissa: els moviments ens permeten inclinar-nos i alçar-nos, és a dir, fer moviments de frontissa. Són exemples d'aquest tipus d'articulació el colze, el genoll i els artells.

diferents graus de llibertat segons el moviment que permeten desenvolupar. Una conseqüència directa d'això és que l'esquelet apendicular crea diferents tipus de moviment no obstant això el moviment dels músculs que envolten l'esquelet fa que les deformacions de la geometria externa no difereixen significativament entre les diferents tipologies d'articulacions.

Les articulacions apendiculars poden generar dos tipus d'efectes de deformació: la flexió i la torsió. La flexió es produeix quan l'eix de rotació és perpendicular a l'eix principal de la geometria. La torsió es produeix quan l'eix de rotació és paral·lel a l'eix principal de la geometria. En els nostres models hem assignat tres malles de deformació a cada segment apendicular. Dues d'aquestes malles s'han situat a sobre de l'àrea de l'articulació i la seva funció és la de simular la flexió. La tercera malla s'ha col·locat al centre de la geometria i s'utilitza per controlar la torsió.

Articulacions lliscants o artròdies: ens permeten realitzar moviments en totes direccions, pel fet que les superfícies òssies oposades són planes o lleugerament corbades. Per exemple, els ossos de la columna, el canell i els tars

Articulacions pivotants o trocoides: totes les pivotants són tipus especials d'articulacions de frontissa i es caracteritzen per girar entorn d'un eix. Per exemple, l'articulació del coll, de la base del crani. La pivotant del coll permet voltejar el cap.

Articulacions esfèriques o enartrosis: tenen forma de bola i receptacle i es caracteritzen pel lliure moviment en qualsevol direcció, com per exemple, el maluc i el muscle.

Articulacions en "cadira de muntar": reben el seu nom, perquè la seva forma és similar a la d'una cadira de muntar. N'és un exemple, l'articulació entre el primer metacarpà i l'os del carp.

Font Viquipèdia: http://ca.wikipedia.org/wiki/Articulació_anatomia

CAPÍTOL II

Introducció al modelat 3D

La història de modelat 3D va de la mà amb la història del desenvolupament de maquinari i programari. Inicialment els avenços en aquest camp estaven impulsats per entorns militars a la recerca d'una millor representació de superfícies i situacions geogràfiques de forma que permetessin un millor aproximament i càlcul de les trajectòries de míssils i projectils en general.

Alguns historiadors de la tecnologia com Ceruzzi o Lécuyer han explorat l'evolució global de la informàtica i el fenomen de la integració dels gràfics d'ordinador en empreses i centres d'innovació. A més d'això altres estudis com el de Loukissas publicat més recentment (2012) han analitzat el canvi de les pràctiques de disseny i han centrat l'atenció en el com han de ser i quines característiques han de tenir els models 3D per ser utilitzables tant en estudis de disseny com en despatxos d'arquitectes o en la docència.

Infinitat d'enginyers i programadors han dissenyat i construït sistemes complexos que fan possible que la societat estigui cada cop més informatitzada. En el camp de la imatge digital i la seva relació amb modelats 3D, diversos estudis com el de Michelle Pierson publicat l'any 2002, han abordat des del punt de vista de la indústria de l'entreteniment, el tema dels efectes especials en pel·lícules i d'altres tipus d'audiovisuals. En cap cas però no hi ha hagut exploracions formals específiques del desenvolupament del modelat digital des del punt de vista dels artistes.

El punt de vista dels artistes és important entre d'altres coses perquè el model digital i la interfície que l'emmarca i el mostra funciona com un reclam comercial el qual cal cuidar com si d'un aparador d'una botiga tradicional es tractés. En aquest sentit val la pena mencionar el que a afirmava Peter Galison l'any 1997.

*The model, while not necessarily at the center of the production process, is an object exchanged in various ways through out the production. For example, one artist's sketches will be turned by another into a digital "rough sketch" and by another into a finished surface and then into a creature with motion control points, textures, lighting, etc.*⁴⁰

Els models 3D produïts en l'actualitat són objectes altament multidimensionals que circulen i s'intercanvien entre diferents comunitats les quals els creuen de múltiples formes establint diferents relacions de representació i visibilitat. Així doncs tot i que no crearà igual un model un artista plàstic que un matemàtic, que un físic o que un enginyer informàtic, és probable que en tots els casos s'arribi a resultats similars ja que les interfícies i diàlegs dels programaris cada cop permeten arribar al mateix lloc per camins molt diferents.

D'aquesta manera doncs els models neixen de moltes formes: poden ser visualitzats com a dades, com punts en un arbre de nodes interconnectats per atributs, com wireframes, fets a baixa poligonització o a alta poligonització, amb textura o sense, amb il·luminació o sense.

Són però en tots els casos vectors emprats en la transmissió d'informació. Alguns models s'implementaran com a bases de dades d'altres aplicacions, d'altres passaran a ser simplement objectes artístics com si d'escultures tradicionals es tractés. En ambdós casos però són susceptibles de fer-se servir com a punt de referència per a interaccions i per a la transmissió de coneixement i això segons els articles publicats per Timothy Lenoir (Stanford University) i Casey Alt (University of California) farà que no només siguin una simple representació sinó també una manera de fusionar i donar sentit a interaccions entre diferents àrees del saber humà.

40Traducció del text de Peter Galison: El model, encara que no necessàriament en el centre del procés de producció, és un objecte intercanviat de diverses maneres a través de la producció. Per exemple, els esbossos d'un artista es convertiran per un altre en un "esbós" digital i per un altre en una superfície acabada i després en una criatura amb els punts de control de moviment, textures, il·luminació, etc...

Programari actual de modelat i animació per ordinador

Una pregunta que sorgeix sempre que ens enfrontem a una creació 3D és la de quin programari farem servir, quin és més apropiat per modelar i animar allò que volem fer.

La resposta a aquesta pregunta ve determinada per tres factors:

- El coneixement que cada usuari té d'un determinat programa.
- Els per aspectes relacionats amb l'accessibilitat al programari i el cost econòmic d'aquest.
- La compatibilitat dels resultats i la dificultat d'integrar-los en d'altres entorns.

Cal dir que els programaris que s'especifiquen en aquest apartat són els que es considera que ofereixen prou eines per treballar un modelat com el que es necessita pel propòsit d'aquest treball i alhora reuneixen tenen prou eines com per fer animació. Val a dir que a banda d'aquests programes n'hi ha d'altres d'ús específic com poden ser per exemple Mudbox que és molt específic per modelar, Autocad pensat per treballar en entorns arquitectònics o Solidworks molt orientat de cara a la enginyeria i el disseny industrial.

Blender

Blender és un programari lliure per a disseny i animació en 3D compatible amb Windows, Linux i Mac OS X. Compta amb un motor intern de jocs 3D en temps real, per a la creació de contingut interactiu de reproducció independent.

És una suite de creació integrada, amb gran quantitat d'eines per a la creació de contingut 3D de modelat, mapejat d'UVs, texturitzat, riggejat, skinning, animació i renderitzat.

Ofereix suport per mitjà d'usuaris a través de fòrums d'internet.

És de programari lliure amb la qual cosa és de distribució fàcil i sense despesa econòmica.

Permet treballar a partir de primitives geomètriques, NURBS i malles poligonals.

Cinema 4D

Programari propietari creat per Maxon per ser utilitzat en sistemes operatius Windows i Mac OS. És fàcil de fer servir donat que tant la interfície com les eines de que disposa són molt intuïtives a més

de personalitzables. L'estructura modular del programa permet afegir components (mòdul de renders, mòdul de dinàmiques, ossos, animació complexa) en funció a les necessitats de l'usuari.

En animació és capaç de generar moviments força realistes fent servir paràmetres bàsics, amb la possibilitat de riggejar personatges de forma semiautomàtica i obtenir renderitzats de qualitat òptima fent servir pocs recursos de maquinari.

Aquestes característiques el converteixen en una eina força interessant per a la modelització i l'animació d'objectes. Com a aspecte negatiu cal dir que les llicències educatives són gratuïtes però tenen limitacions la qual cosa fa que es desestimi el seu ús en molts entorns educatius.

Autodesk Maya

Va néixer a partir de la fusió de Power Animator i Alias-Wavefont. Després, en comprar Alias-Wavefont passaria a mans de Silicon Graphics i en l'actualitat és propietat d'Autodesk. És un programari propietari molt utilitzat per a l'animació 3D, renderització, modelat, composició i rastreig de moviment.

Maya està disponible per a sistemes operatius Windows, Linux i Mac OS i en totes aquestes plataformes disposa d'una versió educativa per a ús no comercial que és gratuïta i completament operativa durant dos anys.

Autodesk Maya és una eina molt completa que permet treballar en base a NURBS, a polígons i a superfícies de subdivisió. El llenguatge que utilitza és el Maya Embedded Language conegut amb les sigles MEL el qual permet tant la creació d'scripts com la personalització del programa en sí mateix.

Softimage XSI

És un programari força senzillet de fer servir. A favor seu podem dir que va ser el primer programa a oferir la possibilitat d'incorporar cinemàtica inversa com a suport al procés d'animació d'essers vius. En contra del seu ús s'ha de dir que té forces limitacions especialment en el moment de renderitzar i obtenir així el resultat final.

Tot i que Softimage va néixer al Canadà sota l'ampara d'Avid Technology actualment és propietat d'Autodesk la qual ha anunciat fa pocs dies que la versió 2015 d'aquest programa serà la darrera ja que deixarà de comercialitzar-se.

Autodesk 3Ds MAX

A banda de ser el programa amb el que s'ha fet aquesta tesi cal dir que el 3Ds MAX és un programa específic de modelat, texturització i animació d'objectes. Molt utilitzat per artistes especialitzats pel fet de considerar-se un dels programes més complets que a més és del tot compatible amb d'altres molt més complexos com pot ser Houdini.

Va ser creat pel Gari Yost per passar després a mans de Discreet que va reescriure el codi per adaptar-lo a Windows i li va agregar la paraula MAX. Actualment està en mans d'Autodesk.

Gracies a la seva flexibilitat de treball permet dissenyar personatges molt reals i crear animacions d'alta qualitat oferint diferents tipus de sortides que van des d'imatges i/o animacions de petit format fins a resolucions Full 4K (4096 × 2160 píxels) amb rendiments de càlcul, pel que fa a la relació qualitat-temps, molt satisfactoris.

A diferència de Maya, MAX només està disponible sota la interfície de Windows però com aquell també disposa d'una versió educativa per a ús no comercial que és gratuïta i completament operativa durant dos anys.

El 3Ds Max compta amb instruments adequats pel control tant de personatges individualitzats com de multituds. Amb pocs passos és possible dotar d'animacions als objectes. Al mateix temps és capaç de representar i calcular simulacions de físiques complexes a través de conversions de geometries a cossos rígids sensibles a les col·lisions.

Carrara

És un programa específic de modelat, texturització i animació desenvolupat per Daz3D a través del qual no només és possible modelar i animar mitjançant mètodes de keyframes sinó que també permet treballar en base a sistemes de físiques complexes i dinàmiques de sòlids rígids i tous. Permet obtenir animacions de tall realista d'altíssima qualitat. Probablement seria un programari molt més popular sinó fos pels problemes de compatibilitat que generen els seus arxius.

Cheetah 3D

És un programa força senzill de fer funcionar donat que només permet modelar i animar en base a fotogrames clau. A banda d'això un dels grans problemes amb els que s'enfronta a l'hora de popularitzar-se és de que només està disponible per a plataformes MAC.

Houdini

Desenvolupat per Side Effects Software és un dels millors programes que existeixen. Cobreix totes les principals àrees de producció en 3D, incloent el modelat polígonal, per corbes NURBS i per subdivisió. Permet fer animació treballada per paràmetres i amb suport a MoCap. Pot treballar per dinàmiques de sòlids i per sistemes de partícules. Té un alt potencial en il·luminació, en composició de l'escena i en renderitzat final.

Houdini està disponible per a Windows, Mac i Linux i és a més compatible amb una varietat d'APIs de scripting la qual cosa fa que qualsevol dels principals llenguatges de programació (maxScript de 3DsMAX o mel de Maya per exemple) puguin interactuar amb aquest programa.

Lightwave 3D

LightWave 3D permet modelar i animar. El programa inclou la possibilitat de treballar en base a cinemàtiques directa i inversa, la possibilitat de treballar per físiques complexes i sistemes de partícules a més d'un motor de render que ofereix resultats amb molt bona qualitat final.

Un dels inconvenients que té el Lightwave és que tota la feina no es desenvolupa en una única interfície sinó que té una doble interfície lligada per un programa complementari, el HUB. Això vol dir directament que està dividit en dos programes: el Modeler i el Layout. Al Modeler és on es treballa el modelat i al Layout es realitza el rigg, el mapejat i l'animació.

Processos de modelat

Modelar consisteix en donar forma a objectes de forma individualitzada. Hi ha una sèrie de rutines en el procés de modelat entre les quals s'inclouen la construcció d'una geometria sòlida, la generació de les superfícies i la subdivisió d'aquestes superfícies.

El model pot ser realitzat per mitjà d'un programa, mitjançant un component d'aplicació o d'un dispositiu de sortida com pot ser per exemple un plotter o a través d'un llenguatge de programació compatible amb el programari que l'usuari faci servir. En alguns casos fins i tot pot passar que tots els processos es combinin i que per tant no hi hagi distinció estricta entre aquestes fases; aquest seria per exemple el cas de l'animació on el modelat és només una part del procés que serveix com a base per a la posterior obtenció del resultat.

Tot i no estar tractat en aquesta tasca, dins del món del modelat hi ha també representacions de físiques complexes com poden ser representacions de dolls d'aigua, aerosols, líquids en suspensió, sorra,... els quals es modelen fent servir sistemes de partícules que tot i poder-se instanciar en geometries prèviament modelades, no necessàriament necessiten del modelat geomètric al fer servir formes primitives estàndard per les seves representacions, formes per tant que ja trobem predefinides a la majoria de programaris.

El modelat digital de qualsevol cos pot realitzar-se en base a tres tipologies genèriques actualment disponibles en qualsevol programari de modelat 3D:

1. A través d'un modelat poligonal convencional. El modelat poligonal disposa un conjunt de punts a l'espai anomenats vèrtexs els quals estan connectats per segments de manera que conformen una malla poligonal. La gran majoria dels models 3D es construeixen com a models poligonals texturitzats perquè són flexibles en quant a forma i ràpids a l'hora de modelar, no obstant això, els polígons són plans i només poden representar superfícies corbes d'aspecte suavitzat emprant un alt nombre de polígons la qual cosa és un seriós inconvenient quan es tracta de cossos de geometria complexa com pot ser la de cos humà.
2. A través d'un modelat fet amb corbes. En aquest cas les superfícies estan definides per corbes les qual reben les influències a través de punts de control, control de vèrtex (CV), els quals actuen de forma ponderada sobre les isoperimètriques que són les que realment representen la forma a través de la interpolació entre punts. En moure

qualsevol dels punts de la corba l'objecte es representarà el moviment desplaçant-se, de forma que s'acostarà o s'allunyarà del punt de control. Aquests tipus de corbes estan generades per NURBS⁴¹.

3. Com si es tractés d'una escultura digital, aquest és un mètode mixt que permet simular objectes de superfícies suaus amb modelats poligonals. És a més el mètode de modelat digital més recent. L'escultura 3D s'ha convertit en una tècnica molt popular especialment des de fa uns anys amb l'aparició al mercat de programaris específics per realitzar escultura digital com poden ser Mudbox, ZBrush o amb eines com l'Sculptor d'Autodesk Maya o el modelat Freeform del 3Ds MAX. En aquest moment hi ha tres tipus d'escultura digital:

a. Modelat per desplaçament: és el que s'ha fet servir per crear els models. Actualment és el més utilitzat. El mètode de desplaçament utilitza un model de malla poligonal generada a partir de superfícies de subdivisió. Les superfícies de subdivisió són HyperNURBS⁴². Aquesta és una forma econòmica de creació formes orgàniques a partir de formes poligonals ja que fa servir menys temps d'espera en les actualitzacions de monitors i menys recursos de processat i de maquinari en general.

b. Modelat per volumetria: no està basada en píxels estàndard sinó en Voxels⁴³. El voxels tenen capacitats similars a les escultures digitals creades mitjançant el procés de desplaçament però en aquest cas es fan servir per crear imatges que requereixen de tecnologies específiques i que a més poden prescindir de la crominància de la imatge. Les imatges de ressonàncies convencionals són un exemple de imatges tridimensionals obtingudes amb voxels ja que aquests només són visibles per opacitat és per això que aquesta mena d'imatges sempre són només imatges amb contingut de luminància i no de crominància.

c. Modelat per teselació dinàmica: és similar als vòxels però divideix la superfície obtinguda creant una malla triangulada per poder així mostrar una superfície llisa i permetre que els detalls d'aquesta superfície sigui més acurada.

⁴¹ Les NURBS (Non-uniform rational basis-spline) és un mètode matemàtic per definir cors, superfícies i sòlids.

⁴² Les HyperNURBS utilitzen un algoritme matemàtic per subdividir i arrodonir un objecte poligonal de forma interactiva sense per això incrementar la geometria.

⁴³ Un vòxel (Volumen Element) és un píxel volumètric. És la mínima part distingible d'una imatge definida per tres eixos: alçada, amplada i profunditat de forma que cada vòxel representa el volum de l'objecte a un punt determinat. La paraula Voxel ve de Volum ('VO') i Píxel ('XEL')

Modelat per subdivisió

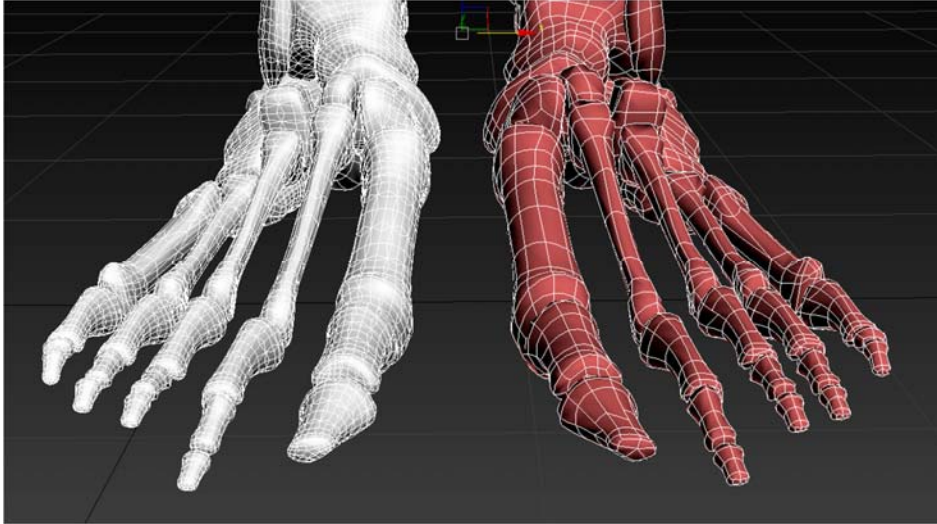
La creació de personatges gràfics fets amb 3D a l'ordinador presenta una sèrie de desafiaments tècnics que inclouen el modelat, l'animació i la renderització de formes complexes, com ara el cap, les mans o la roba. Tradicionalment totes aquestes formes s'havien modelat amb superfícies generades a partir de corbes NURBS malgrat les restriccions que el modelat NURBS imposa i les aberracions que es poden formar quan les NURBS són passades a polígons convencionals.

Les corbes NURBS s'utilitzen primordialment pel fet que estan disponibles en tots els programaris comercials però aquesta mena de corbes comporten com a mínim dues dificultats associades.

D'una banda el procés de texturitzat és força més complicat si no és que es converteixen les NURBS a malla poligonal i d'altra banda si es converteixen a malla poligonal els riscos d'errors en els mapejats són grans i les dificultats per dissimular les costures (seams) també pot ser-ho.

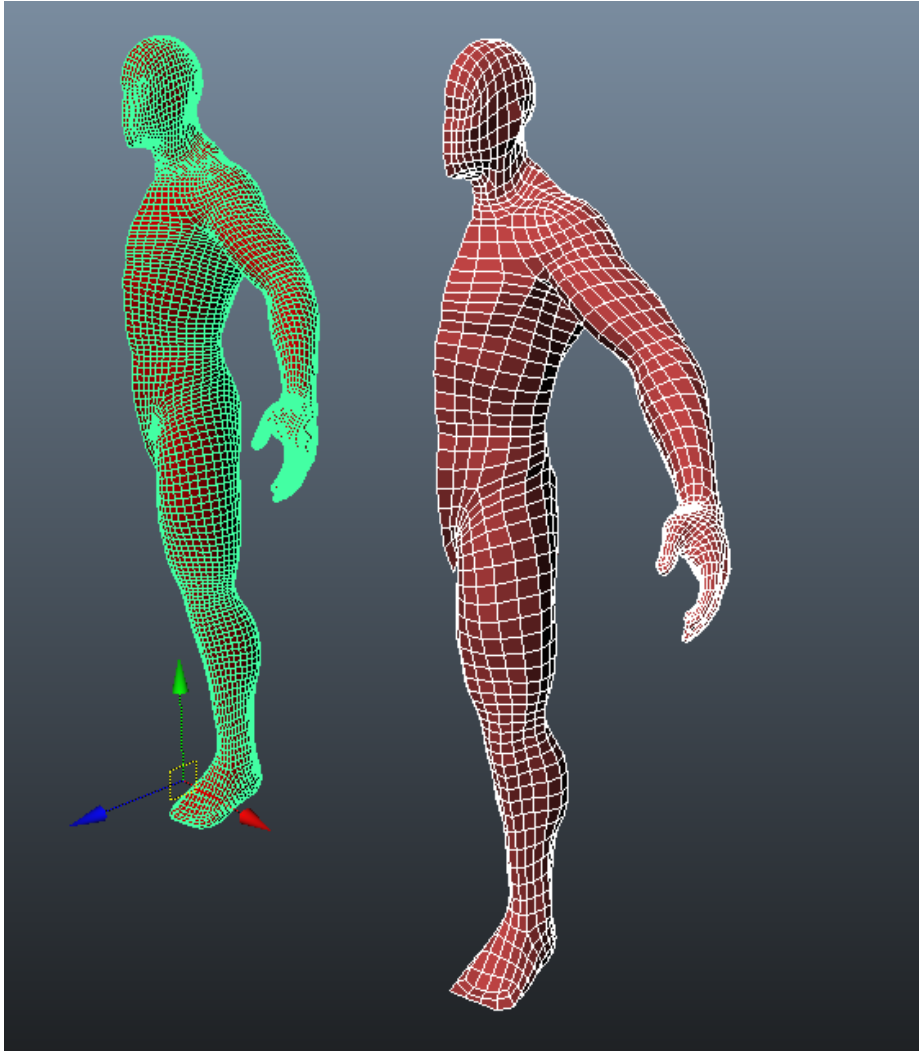
Treballar mitjançant la subdivisió de superfícies permet superar aquests dos problemes, això vol dir que no hi ha diferències substancials entre un mapejat poligonal i un mapejat per subdivisió i la suavitat de les superfícies corbades del modelat queda garantida pel propi sistema de subdivisió. D'altra banda els processos propis del modelat i de l'animació són idèntics a com es treballa amb models poligonals. Per tant doncs és una forma estable i consolidada de modelar i d'animar.

A la imatge següent es poden veure els ossos dels peus del model de l'home. A la dreta de la imatge hi ha els ossos del peu esquerre vistos a alta poligonització i amb aspecte suavitzat que és tal com queden al final del procés de modelat després de fer que els polígons prenguin l'aparença de NURBS. A la dreta de la imatge el peu esquerre ens mostra com es veu mentre es treballa, és a dir a baixa poligonització. Es pot observar ràpidament que tot i la dificultat que també té com a conseqüència de l'elevat nombre de vèrtex és molt més còmode i fàcil treballar amb les característiques que té el peu dret del model que no pas amb l'esquerre.



Modelat dels peus del model d'home fet amb Autodesk 3Ds MAX.

Així com en el cas de la imatge superior, extreta d'una captura de pantalla de 3Ds MAX, el modelat per subdivisió s'aplica directament sobre el model definitiu, hi ha d'altres programaris que permeten treballar sobre d'un objecte extern que és el que conté menys polígons de forma que tot allò que es fa sobre d'aquest objecte queda aplicat directament al model d'alta poligonització i viceversa. D'aquesta forma es possible controlar visual i constantment qualsevol intervenció que fem sobre el model ja que, conforme anem treballant sobre d'un dels dos objectes l'altre s'actualitza automàticament. Aquest seria el cas de la imatge següent feta a partir d'un model treballat a Autodesk Maya



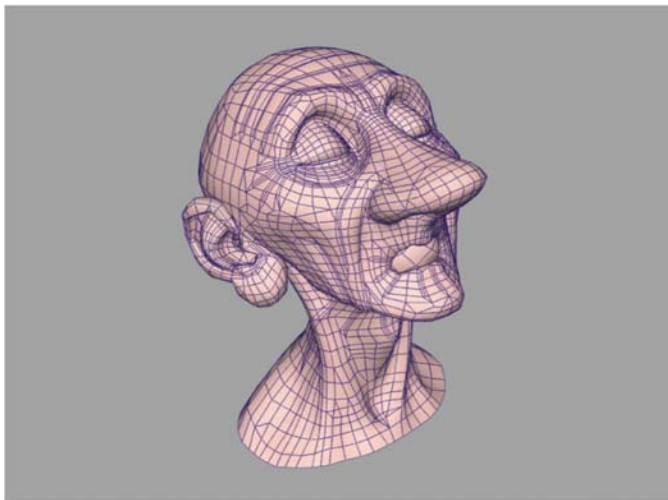
Modelat per subdivisió fet a Autodesk Maya.

Antecedents

A la dècada dels 70 va ser quan va sorgir la possibilitat de modelar per superfícies de subdivisió de la mà de Edwin Catmull i James Henry Clark (subdivisions de Catmull-Clark). Ells van ser els que van introduir una de les primeres malles amb control per subdivisió. Aquest control subdivideix la malla per produir-ne una de més ajustada a la figura i ho fa mitjançant la divisió de cada cara en una col·lecció de subcapes formades per quadrilàters generant així models de perfils molt suaus i sense pèrdua de volumetria.

Una cara que té n vores es divideix en n quadrilàters. Els vèrtexs es calculen utilitzant les mitjanes ponderades de la posició i orientació que té cada subcara. La superfície de subdivisió es defineix com el límit de la seqüència de malles creada per l'aplicació repetida del procediment de subdivisió. A nivell teòric aquesta subdivisió és infinita però a la realitat no s'acostuma a fer més de tres cops, quatre en el cas de personatges amb trets molt subtils i que hagin d'estar en primer terme. Això és així perquè si posem per cas un octaedre i li apliquem tres iteracions de subdivisió, aquest octaedre que inicialment tenia vuit polígons ara en tindrà cinc-cents⁴⁴.

Seguint el sistema de Catmull-Clark, l'any 1997 Pixar va crear el seu curt El Joc de Geri guanyador d'un Òscar i que va servir per mostrar les possibilitats que tenia el modelat per subdivisió.



Malla de subdivisió del cap d'en Geri, creada mitjançant la digitalització d'un model a escala real modelat en fang. El joc d'en Geri. Curtmetratge de la Pixar Animation. 1997

Mentre que la subdivisió Catmull-Clark es basa en els quadrilàters hi ha d'altres autors com Charles T. Loop o Nira Dyn que basen la subdivisió de la superfícies en triangles.

Inicialment el treball amb superfícies de subdivisió presentava un problema greu. Si bé era ideal per representar volums orgànics tenia molts problemes per representar zones on la volumetria crea arestes, tant internes com externes, com poden ser els plecs interiors dels dits, les arestes internes de les ungles o el darrera dels genolls en flexionar-se. No va ser fins l'any 1994 que Hugues

⁴⁴ A cada iteració que fem es multiplica el nombre de cares per quatre d'aquí que en l'exemple posat al text les 8 cares de l'octaedre passen a ser 512. ($8 \text{ cares} * 4 * 4 * 4 = 512 \text{ cares}$)

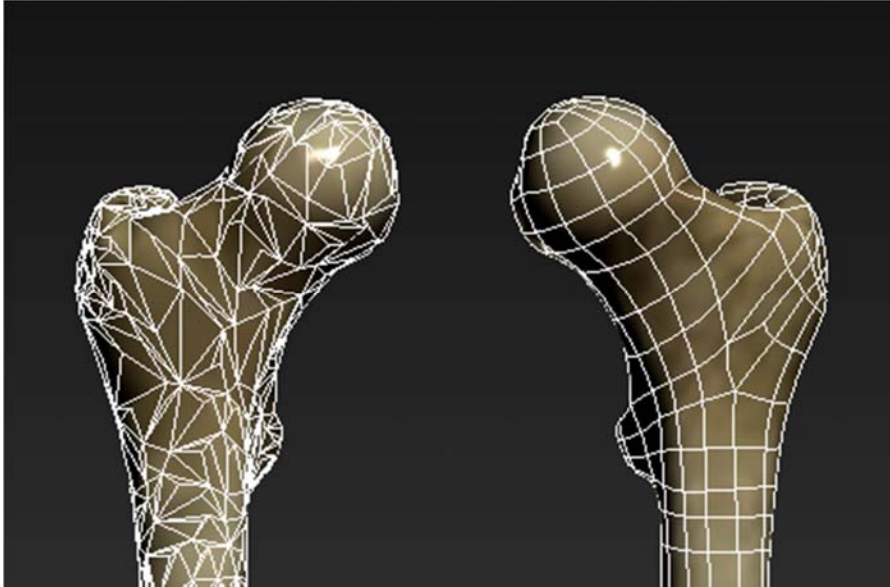
Hoppe⁴⁵ i els seus col·laboradors van fer que fos possible modificar les subdivisions per crear superfícies de diferents densitats de malla amb la qual cosa no només es solucionava aquest problema sinó que s'ampliaven les possibilitats de treball basades en les superfícies de subdivisió.

Actualment les superfícies de subdivisió han evolucionat força i permeten fins i tot que es pugui fer refinaments parcials de la malla en funció de les característiques d'aquesta estalviant així increments poligonals en zones on no són necessàries les iteracions.

En aquest treball he triat fer servir superfícies basades en quadrilàters per dues raons:

1. Utilitzen tensors uniformes d'splines bicúbiques la qual cosa facilita l'intercanvi entre els diferents programaris que hi ha actualment al mercat al ser aquest un tipus de control de malla estandarditzat mentre que els controls de malla triangular cada cop s'utilitzen menys i a més no són compatibles amb moltes plataformes de reproducció ni amb motors de videojocs que hagin de funcionar a temps real.
2. Els quadrilàters són millors que els triangles per representar simetries en els objectes a banda de que la majoria de volums d'estructura cilíndrica com poden ser els dels braços, les cames o els dits es poden modelar de forma molt més fàcil amb quadrilàters que no pas amb triangles.

⁴⁵ Hugues Hoppe és en l'actualitat el director de grup de recerca de gràfics per ordiandor de Microsoft

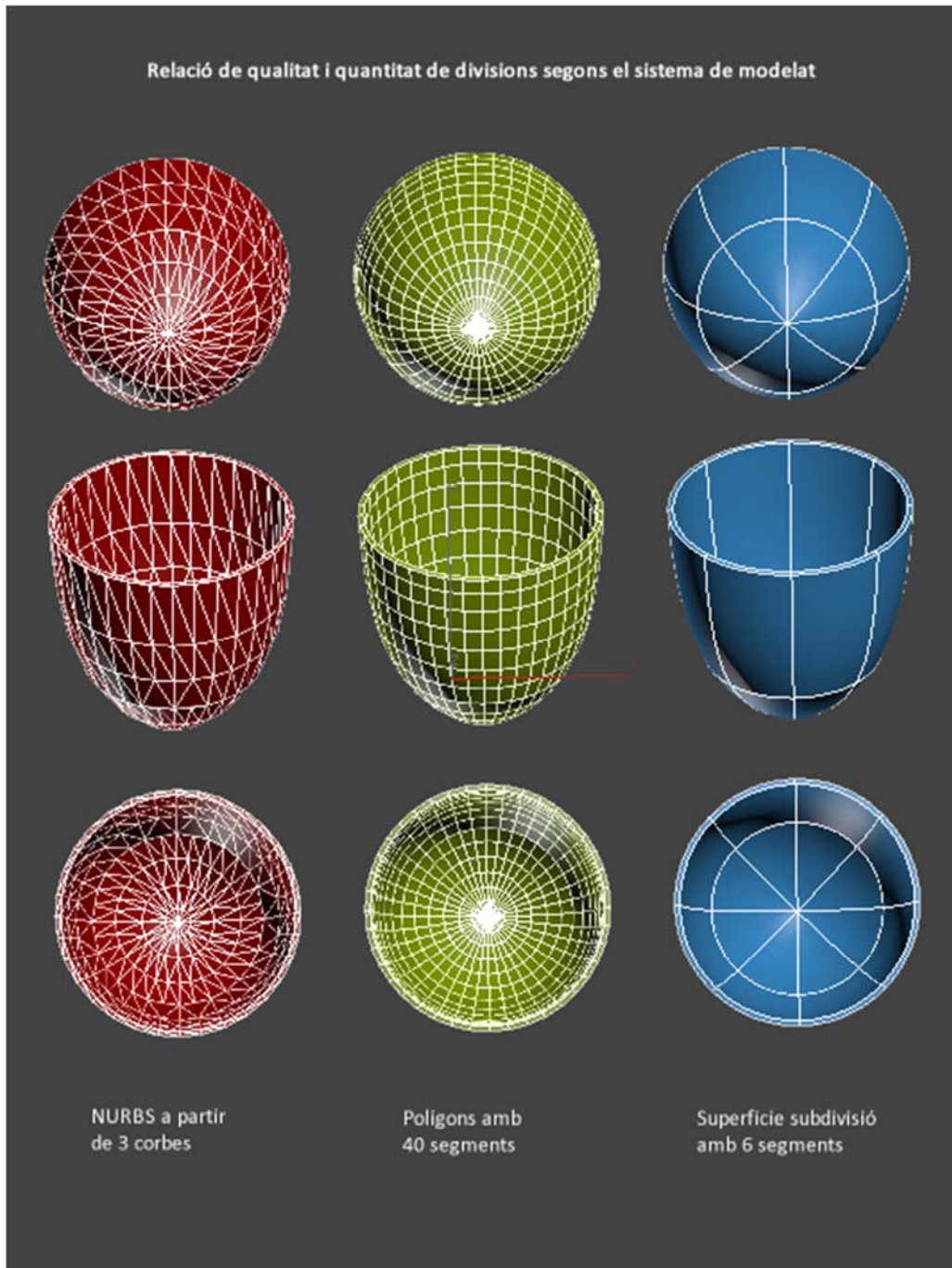


Vista del cap del fèmur del model de l'home construït en base a malla triangular i en base a malla quadrangular.

En el primer cas s'han hagut de fer diverses operacions de divisió dels triangles en d'altres de més petits les quals, inevitablement, han generat n-gons⁴⁶ que després també s'han hagut d'anar eliminant cosa que ha generat una malla desordenada, complicada i molt poc operativa a l'hora de treballar. En el segon cas la malla és molt més simple, és neta, s'ha pogut modelar sense crear aberracions i a més a més els perfils són més suaus i les corbes molt més precises i ajustades.

A la imatge següent podem veure una comparació entre les malles generades en superfícies corbades segons les tres tècniques de modelat més emprades actualment: un modelat amb NURBS, un modelat poligonal clàssic i un modelat per superfícies de subdivisió. Pot veure's ràpidament que la malla més neta i la de més simple manipulació és la creada mitjançant les superfícies de subdivisió.

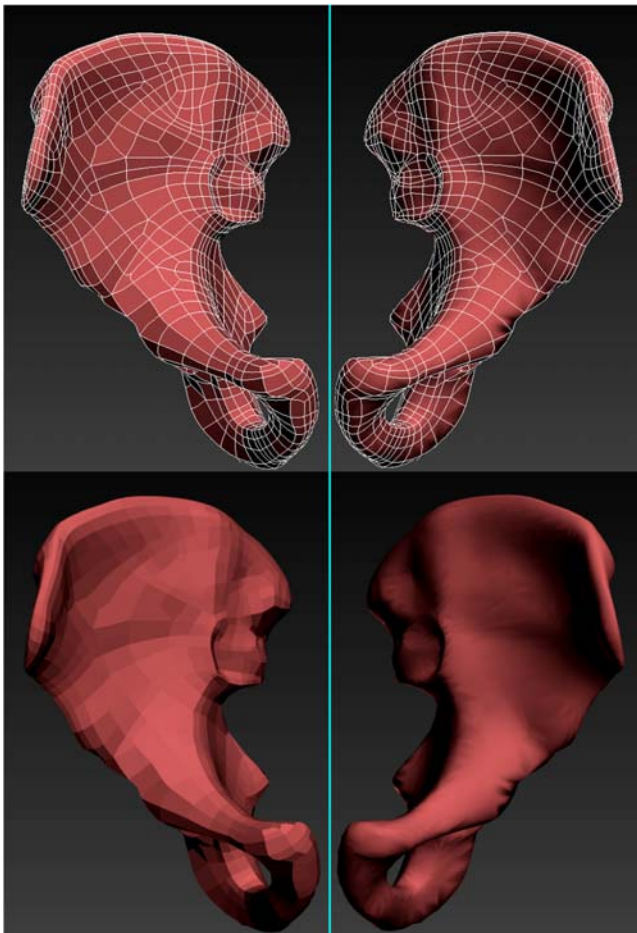
⁴⁶ Els n-gons son poligons que contenen més de quatre cares. No és aconsellable deixar modelats com a acabats els quals continguin encara aquesta mena de poligons. Més endavant s'expliquen què són i com esmenar els n-gons que es poden produir mentre es modela.



Diferències amb el modelat poligonal clàssic

Com ja s'ha dit les superfícies de subdivisió creen automàticament representacions suavitzades de superfície a partir d'una malla poligonal la qual sempre contindrà menys polígons dels que tindria si haguéssim de representar la superfície suau únicament amb polígons.

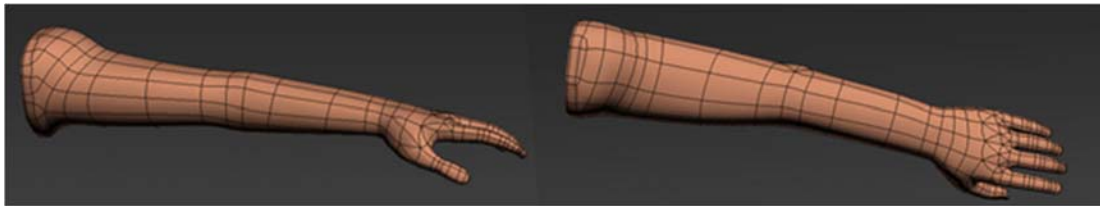
Conforme apliquem successives iteracions la figura es va tornant més suavitzada la qual cosa podria fer pensar que paral·lelament es van incrementant també el nombre de vèrtexs i polígons tot i que realment la geometria de treball segueix sent la mateixa.



Imatge de la pelvis del model d'home. La part esquerra de la imatge està feta amb poligonals clàssiques mentre que part de la dreta està feta amb superfícies de subdivisió. La geometria és la mateixa però en canvi la visualització té suavitzats molt diferents

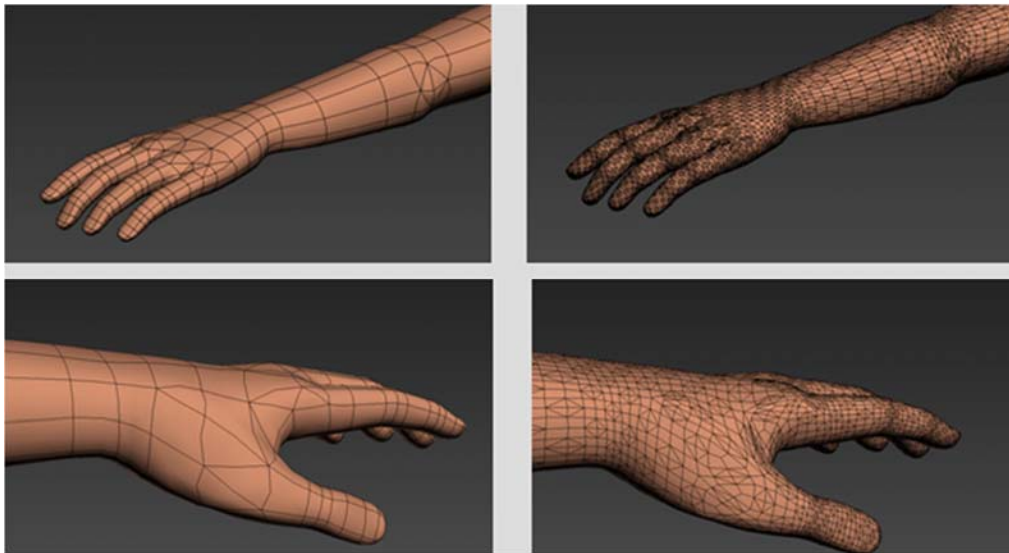
Un dels molts avantatges que incorpora aquest mètode de construcció és que seguim partint d'un modelat poligonal: se segueixen emprant les mateixes eines que es fan servir pel modelat poligonal clàssic (extrudir, bisellar, contornejar, enquadrar,...) i no només la simplificació de la malla fa que treballar amb superfícies de subdivisió sigui molt més simple sinó que també facilita el treball el fet que sigui possible afegir detalls fàcilment, i amb eines sobradament conegudes, allà on es necessiti.

Tal com s'ha dit, podem intensificar el detall de la malla només en les àrees on realment sigui necessari, allà on es necessiti més geometria. Aquest pot ser el cas dels dits de les mans i els peus mentre que els braços, les cames o d'altres parts i òrgans menys conflictius la resolució pot ser molt menor. La possibilitat de fer això i crear aquests increments de resolució l'hem de cercar en uns polígons que podríem considerar especials i que es coneixen sota el nom de Pole Polygons. Els Pole Polygons són polígons quatre costats que fan la funció d'augmentar i disminuir la resolució de la malla. A la imatge següent es pot veure un exemple de l'ús d'aquesta tècnica per augmentar la resolució de la zona dels artells.



Malla d'un braç amb subdivisió i ús dels Pole Polygons

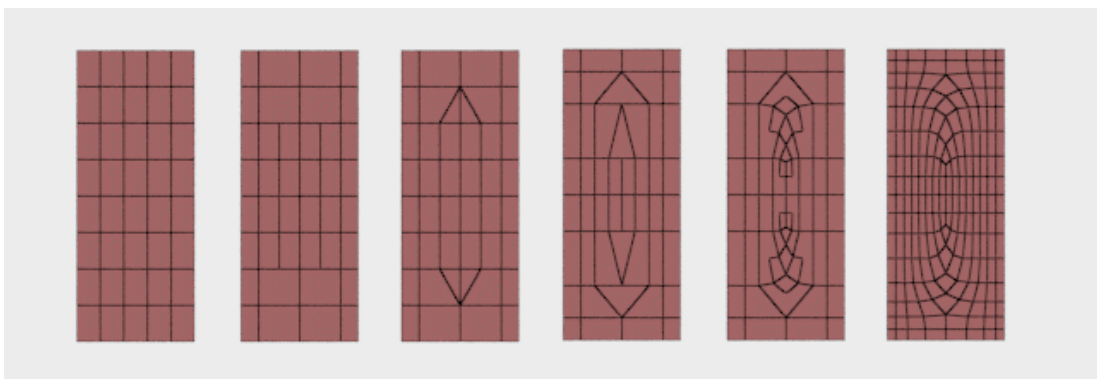
Com es pot veure s'ha millorat la resolució de les zones d'aplicació mentre que les que no rebran deformacions excessives mantenen un nivell baix de punts de control. A diferència de quan treballem amb poligonals tradicionals, una de les coses indispensables quan es fa servir aquesta tècnica és la necessitat de pensar prèviament on col·locarem les divisions que incrementaran la malla.



Malla simplificada amb Pole Polygons

Poligons reals que es renderitzaran

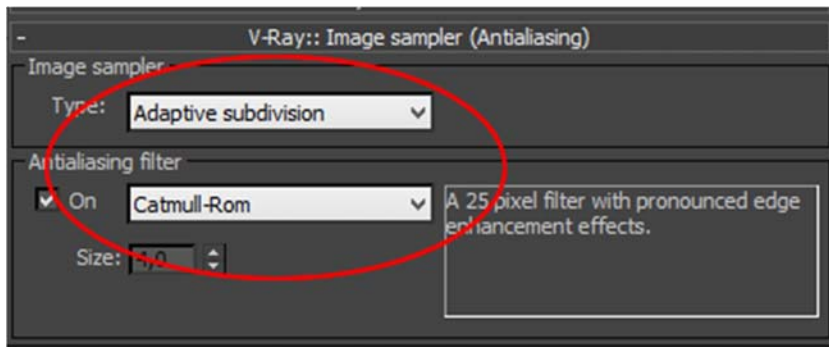
Els Pole Polygons permeten modelar a resolucions molt baixes i decidir el lloc just on necessitem augmentar la resolució de l'objecte i el que és més interessant, la superfície segueix sent una malla subdividida molt simple, neta i de fàcil manipulació si la comparem en com seria si estigués modelada només amb poligonals clàssiques.



Quan treballem amb aquest tipus de modelatge és fonamental comprendre la topologia d'allò que volem modelar. Això implica directament que ha d'existir un flux ordenat i coherent entre totes les

línies que defineixen la geometria. Això serà beneficiós per garantir una correcta continuïtat en les curvatures, per definir millor els mapes d'UVs o per poder ajustar millor les superfícies a l'aspecte real del personatge quan fem l'animació.

Una característica afegida a les superfícies de subdivisió la qual actualment es troba present a la majoria de motors de render és la possibilitat de subdividir la peça dinàmicament en el moment d'obtenir el resultat final amb la qual cosa, si la imatge es visualitza des de molt lluny poden aplicar-se menys iteracions de subdivisió incrementant-se aquestes conforme la càmera s'acosta al model. Aquest procés que es coneix com a subdivisió adaptativa permet estalviar temps de renderitzat inútil.



Captura d'un fragment de la finestra de render del V-Ray per a 3Ds MAX

Resumint tot el que s'ha dit fins ara podríem concloure dient que les avantatges de treballar fent servir aquest sistema són els següents:

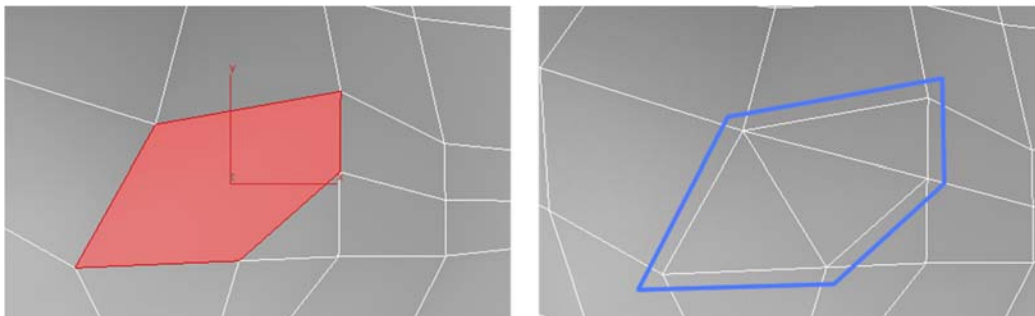
- Es veuen els resultats immediatament
- Es poden afegir més detalls fàcilment mentre s'avança en la tasca
- S'aconsegueixen fàcilment superfícies suavitzades.
- Facilita el modelat de figures complexes.
- S'aconsegueix una malla de multiresolució. Treballant a baixa resolució no es sobrecarrega l'escena i s'evita que l'ordinador vagi massa lent.

El problema dels n-gons

Un n-gon és un polígon de costats variables. En entorns de creació de gràfics per ordinador identifiquem com a n-gon a qualsevol polígon que tingui més de quatre costats. Així doncs quan un polígon no és ni un triangle ni un quadrilàter se l'anomena Ngon.

Excepte en coses molt específiques s'ha d'evitar l'ús de Ngons ja que aquests poden generar molts problemes al moment d'animar-los creant falsos plans (plans alabejats) els quals provocaran defectes de visualització en renderitzar-los. A banda d'això programes de creació d'escultures digitals com poden ser Mudbox o ZBrush no importaran models que tinguin Ngons.

Quan es modela és relativament senzill generar Ngons de forma involuntària per la qual cosa cal estar molt pendent de si és del tot necessari crear-los o de si podem evitar-los i en cas que sigui imperatiu haver-los de fer aleshores cal decidir amb molta cura el lloc concret on els coloquem de forma que això no ens afecti ni al render ni a l'animació ja que si això passa quedarà afectat el resultat final.



A la imatge de l'esquerra es pot veure un n-gon que s'ha creat durant el procés de modelat. A la de la dreta aquest n-gon ja no hi és pel fet d'haver-lo reconvertit en tres triangles.

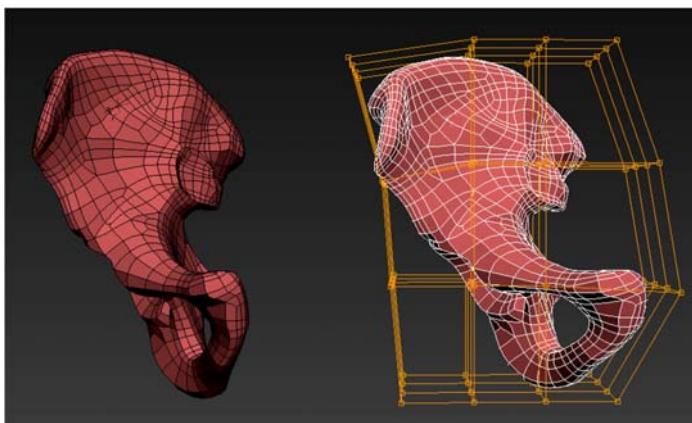
Tècniques de deformació de subdivisió de superfícies

Matemàticament les deformacions que pateix un cos quan hi ha moviment es poden representar com un conjunt de paràmetres els quals determinen la posició de cada vèrtex i l'orientació i escala de tots i cadascun dels polígons que configuren la volumetria del cos. Si bé com a conjunt finit que és podríem enumerar cada un d'aquests paràmetres i disposar-los sobre un eix de coordenades, resulta evident que en el modelat d'un cos humà hi ha un excés d'aquests paràmetres per fer que la seva modificació manual sigui factible.

Això implica que s'hagin de cercar mètodes que permetin deformacions aplicables a grups d'elements de forma esgraonada, és a dir amb diferents graus d'afectació de la deformació. Actualment els dos mètodes de deformació que s'utilitzen en els gràfics d'ordinador estan basats per un costat en la deformació del volum i per un altre en la deformació de les característiques de l'objecte. El primer mètode dóna lloc als canvis globals de la forma mentre que el segon tendeix a localitzar canvis de la forma al voltant de certes característiques visibles de l'objecte.

Deformació basada en la volumetria

En les deformacions d'aquesta mena el volum, la geometria, normalment s'incrusta dins d'una malla externa a través de la qual podem manipular la volumetria del cos. El gran avantatge de treballar seguint aquest mètode és que amb pocs punts de control movem molta zona de malla.



Conversió de la pelvis del model d'home en la corresponent a la dona. Les FFDs permeten deformar la geometria utilitzant una malla de control externa a la forma.

El terme de forma lliure de deformació (FFD) el van introduir Sederberg i Parry per descriure aquestes deformacions paramètriques del volum, és una eina molt ràpida per a representar, modelar i animar cossos i objectes basada en deformacions de l'espai que els conté. Van utilitzar les funcions matemàtiques de Bernstein⁴⁷ per tal de posar en pràctica un procediment al qual van anomenar com a congelació. L'ús d'un volum de Bernstein requeria d'una xarxa de control de 64 punts com a mínim⁴⁸. Originàriament les deformacions possibles fetes per aquest mètode eren poc precises però refinaments posteriors han fet possible que es puguin crear diferents tipus d'armadures amb molt més control i amb una àmplia variació dels punts d'afectació.

Alguns treballs van propiciar que la interacció fos més intuïtiva. No va ser fins l'any 1992 que l'ara professor de la Universitat de Kansas, William H. Hsu, va crear un model que permetia la manipulació directa dels punts de control. Com a conseqüència del seu bon comportament i de la rapidesa de treball aquest mètode es va estendre ràpidament.

Actualment les deformacions són definides per funcions paramètriques els valors dels quals són determinats a partir dels punts de control que conformen la malla, la qual habitualment té forma de paral·lelepípede amb diversos punts intermedis on cadascun d'aquests punts pot ser manipulat lliurement.

La pell lligada a la capa de l'esquelet

És el mètode més habitual de treballar passa per incrustar un esquelet funcional articulats dins de la geometria del cos i associar cada part de la geometria de la pell amb una o més parts de l'esquelet funcional. Quan un punt, un vèrtex, té més d'un os associat amb ell, la influència de l'estructura de l'articulació es pondera de manera que la suma dels pesos sempre sigui igual a una unitat. Aquest mètode s'utilitza des de finals dels anys noranta en molts jocs i interactius per crear deformacions de malla de cossos sencers. En treballar d'aquesta forma els pesos de cadascun dels vèrtexs han de ser ajustats manualment per aconseguir moviments creïbles.

Altres mètodes de treball com el que proposà Talbot en la seva tesi doctoral han tractat d'establir parametritzacions matemàtiques que descriguin el moviment de l'exterior del cos a través del

⁴⁷ La base polinòmica de Bernstein diu que un polinomi d'ordre n aproxima una funció a un interval quan més gran sigui aquest n . Això gràficament es tradueix en el fet que una caixa FFD de més punts de control oferirà més possibilitats de deformacions que una amb menys punts de control.

⁴⁸ 64 punts de control impliquen una FFD de $4*4*4$ punts en cada costat

moviment de l'articulació. En aquests casos l'animació es crea un espai de transformacions dels vèrtexs que simulen la pell per un procediment d'interpolació geomètrica entre postures clau. El cos canvia de forma de manera realista com si s'hagués treballat amb animació tradicional, és a dir frame a frame. Les imatges clau però s'han de definir manualment i augmenta exponencialment el temps que això comporta a mesura que el nombre de paràmetres a animar també augmenta.

Amb avantatges i inconvenients ambdós mètodes permeten mostrar amb força precisió els moviments del cos però també en ambdós casos la representació del moviment depèn per una banda de la destresa de l'animador i per una altra de la cinemàtica de les articulacions assignades a l'esquelet funcional.

La pell lligada a una capa deformable

Existeixen diversos mètodes que permeten afegir una capa deformable a la part superior de l'esquelet articulat. Una primera aproximació la podem trobar en l'article presentat per P. Gourret i el matrimoni Thalmann al SIGGRAPH de l'any 89 on expliquen un mètode amb el qual és possible simular la deformació de la pell de les mans mentre es produeix l'acte d'agafar un objecte.

L'any 1995, Lee, Terzopoulos i Waters van utilitzar vectors musculars entre el crani i la pell per crear dinàmicament expressions facials realistes. Per fer això varen proposar una estructura de la pell de triple capa amb diferents propietats assignades a cadascuna d'elles.

No va ser fins a Chadwick que es va estendre aquest sistema a les deformacions de tot el cos mitjançant l'ús de capes d'armadura externes (FFD) a l'esquelet i l'animació d'aquestes per paràmetres de deformació amb afectació als angles de les articulacions.

Amb aquest mètode no només van ser capaços de crear animacions de tall realista sinó que també van poder aplicar principis d'animació com el d'encongir i estirar o el dels moviments secundaris. Aquests efectes dinàmics es van obtenir mitjançant el tractament dels nodes de la caixa FFD com a punts de massa que interactuen entre sí després d'aplicar-los-hi la llei de Hooke⁴⁹.

⁴⁹ La llei de Hooke diu que quan un cos sòlid està sotmès a una força de tracció externa aquest cos sòlid es deforma i que per establir aquesta deformació s'equilibren les forces internes del sòlid amb les externes que està rebent això implica que la deformació produïda en un cos elàstic sigui sempre proporcional a la força aplicada.

La llei de Hooke estableix la relació directa entre les forces externes sobre un cos i les deformacions que experimenta aquest cos quan se li aplica una força de forma que quan més grans són les forces aplicades sobre ell, més s'incrementen les deformacions provocades i aquest increment es produeix a més de forma proporcional.

Capes deformables anatòmic-funcionals

Tal i com diu Goldfinger en el seu llibre *Human Anatomy for Artists* tradicionalment tant els escultors com els animadors i els artistes plàstics en general han estudiat l'anatomia amb la finalitat de capturar correctament els contorns subtils de la musculatura, l'esquelet i la forma externa del cos en general. Fins avui en dia s'han desenvolupat diversos mètodes per modelar amb la major cura i exactitud anatòmica possible les parts deformables del cos humà.

Wilhelms i Van Gelder van presentar al SIGGRAPH de 1997 un mètode de treball que incorporava un conjunt d'elements d'aproximació polièdric-musculars connectats a la geometria de l'esquelet. El fet que aquests elements polièdrics canviessin de forma s'utilitzava per deformar els vèrtexs de la malla que feia les funcions de pell del model.

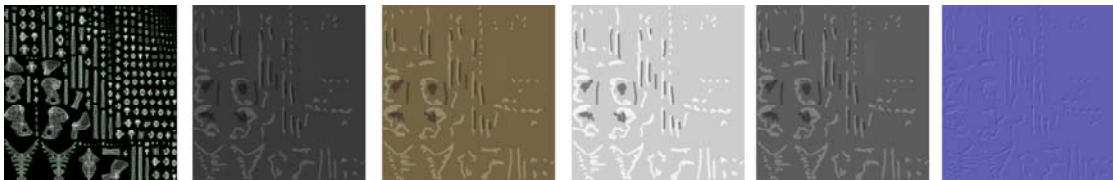
Paral·lelament a aquest plantejament quatre membres del departament de ciències de la computació de la Universitat d'Ohio (Scheepers, Parent, Carlson i May) van emprar el·lipsoides com a models musculars. Aquests el·lipsoides es podien superposar sobre l'esquelet de forma que es generava una isosuperfície⁵⁰ del conjunt múscul-esquelètic la qual es podia interpolar amb altres isosuperfícies per crear l'animació del cos.

⁵⁰Els objectes isosuperfície són formes generades per funcions matemàtiques que es creen en temps de traçat (formes vectorials) la qual cosa fa que siguin difícilment maniobrables especialment quan les formes a crear són molt complexes.

Texturització: creació d'UVs

Amb el procés de texturització no només es cerca donar color a cada part del cos sinó també poder afegir detalls de, per exemple, com ha de ser la superfície que han de tenir els ossos o la direcció dels teixits musculars. És a dir afegir aspectes que serien sinó impossibles de modelar com a mínim tremendament entretinguts, que significarien un enorme increment de temps i el que és més greu, un increment desmesurat de polígons en la malla. Deixant de banda a més el fet que treballar directament sobre la geometria del propi model a aquest nivell de detall significaria haver de seguir un procediment extremadament complicat de fer.

Per solucionar això es fa servir la tècnica del mapejat de textures que permet que aquestes puguin ser treballades en dues dimensions a través de programaris de tractament d'imatge com poden ser Photoshop o Gimp. És amb aquests programes que es creen les textures que després assignarem a la malla del model. Les imatges obtingudes per aquest procés són les encarregades de proveir de detall a la geometria. Aquestes imatges poden ser aplicades a diferents canals en funció de si es tracta de mapes de llum, d'especularitat, de rugositat, de desplaçament o de transparència entre d'altres.

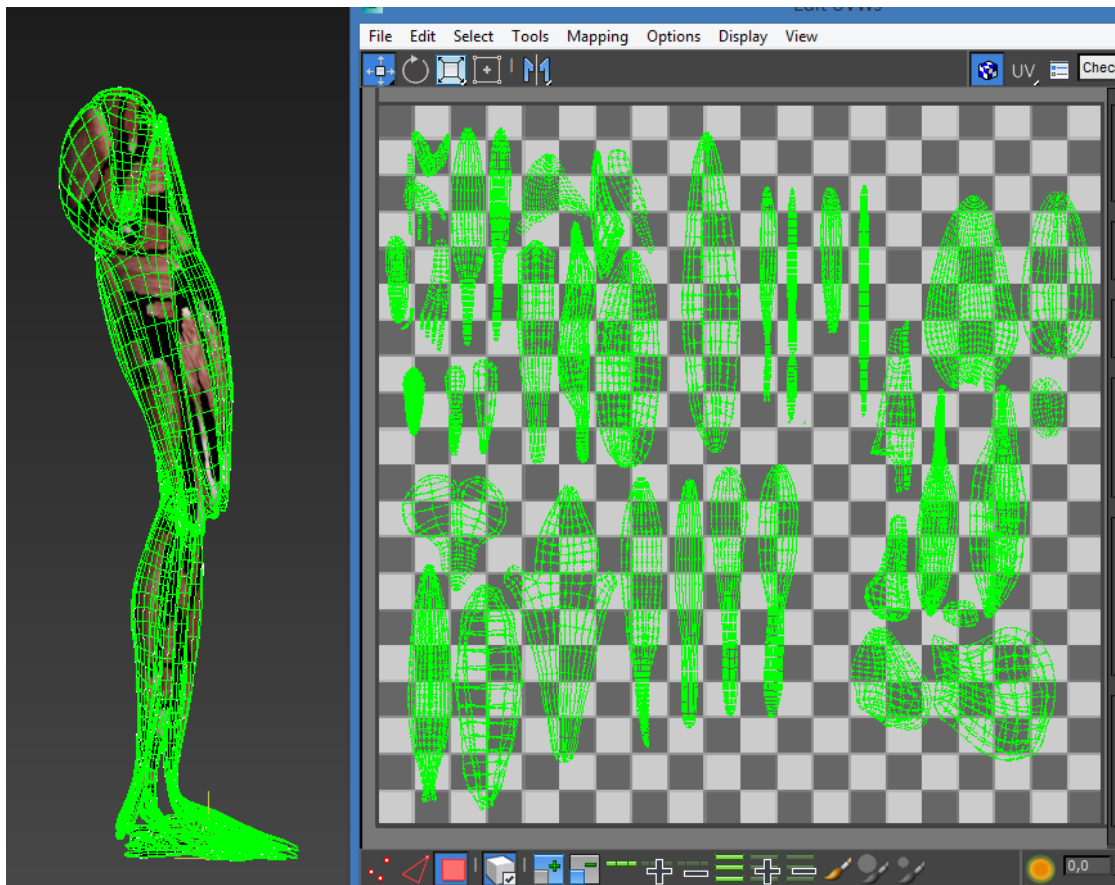


Mapa de textures detronc de l'esquelet de la dona. Per ordre d'esquerra a dreta les imatges cobreixen el següent: plantilla de UVs sortida de 3Ds MAX, especular, difosa, desplaçament, bump i mapa normal

Convertir els objectes tridimensionals en imatges de dues dimensions significa que cada part de la geometria del model ha de passar per un procés que s'inicia amb un retallat de la malla en diferents parts, continua obtenint una projecció perpendicular de la seva malla sobre un pla i finalitza un cop aquesta projecció s'ha estirat sobre d'aquest pla fins a quedar completament plana, és a dir en dues dimensions. A tot aquest procés se'l coneix com a extracció de les UVs⁵¹.

⁵¹Quan parlem d'extracció de les UVs en realitat estem parlant d'un pla bidimensional representat per les coordenades X e Y a les quals s'identifica amb les sigles U i V per no conforndre les coordenades de mapejat amb les de posició. És per això doncs que a les coordenades de mapejat se les identifica amb les sigles U i V mentre que les de posició venen representades per X e Y

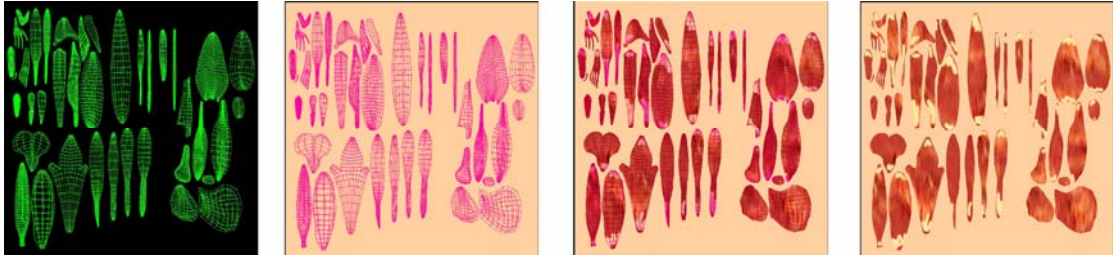
El procés d'extracció de les UVs va lligat sempre a un únic model ja que aquest és un procés que s'ha de fer de forma individualitzada per a cada model donat que qualsevol variació de la geometria fa que el mapatge de la textura quedi desajustat.



Procés de creació del pack d'UVs de la musculatura de les cames del model masculí

En un cos de geometria simple l'extracció de les UVs és força automatitzada ja que la majoria dels programes 3D actuals disposen de sistemes que permeten obtenir les projeccions ortogonals dels models simples de forma automàtica i sense gairebé cap errada. Això però no és així en volumetries complexes com és la d'un cos humà. En aquests casos és necessari passar per un procés conegut amb el nom d'Unwrap a través del qual podem trossejar la geometria del model en fragments més o menys grans els quals després aplanarem mitjançant el procediment d'estirar la

mallat fins a obtenir superfícies planes que ens serviran de plantilla per poder crear les textures adequades a cada part de la mallat.



Texturització feta a Photoshop de les UVs de la musculatura de la cama del model masculí

CAPÍTOL III

La animació 3D

Les animacions tridimensionals per ordinador s'han convertit en un ajut molt important en molts camps de la indústria i la ciència a l'hora de recrear simulacions de sistemes complexos.

La animació d'un sistema es representa com el model de funcionament del sistema. Aquest model i la simulació que realitza serveix per explorar i adquirir nous coneixements sobre l'objecte d'estudi i per estimar i avaluar el rendiment que tindran models reals en sistemes complexos similars als representats.

En essència un model, tot i que en veiem la seva representació en forma gràfica, està sempre definit per algoritmes matemàtics que la màquina interpreta i representa. L'animació d'aquest model ve donada pel resultat de l'execució d'un model concret en unes circumstàncies predeterminades. En altres paraules, no construïm l'animació sinó que construïm el model i és a partir d'ell que podrem obtenir l'animació.

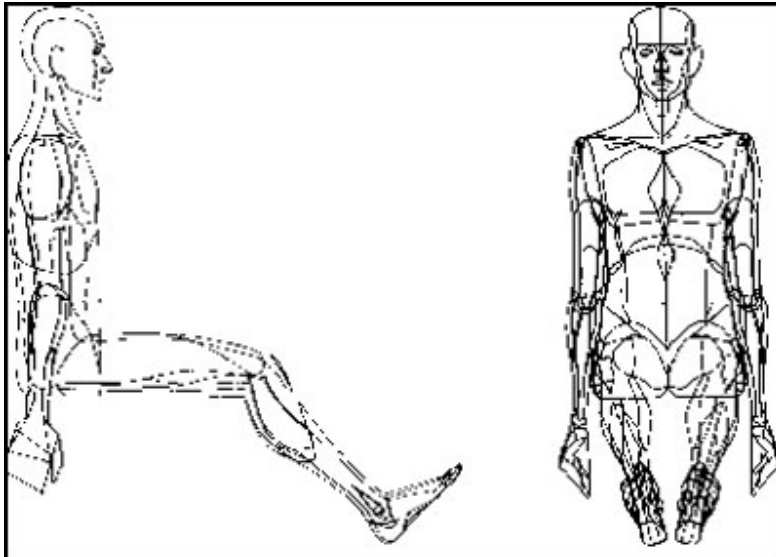
A banda de les possibilitats pedagògiques que ofereix pel fet de permetre visualitzar objectes i situacions des d'infinidats de punts de vista, l'animació 3D feta amb ordinador s'utilitza sovint com a complement o substitutiu de sistemes per als quals trobar solucions reals que siguin senzilles és complicat o fins i tot inviable. Hi ha molts tipus de simulacions per ordinador que necessiten de l'animació i la característica comuna de totes elles és el fet de poder veure i estudiar un conjunt de situacions i escenaris prou representatius. Sense aquestes animacions l'estudi i enumeració complet de tots els estats possibles en que es pot trobar el model seria gairebé impossible.

Primers treballs d'animació amb models sintètics

L'anàlisi ergonòmic proporcionà algunes de les primeres aplicacions en gràfics per ordinador per veure com es movia el cos humà en determinades situacions. Un dels primers anàlisi ergonòmic que es va fer va ser el LSO (Landing Signal Officer) portat a terme per William Fetter i desenvolupat per la Boeing l'any 1959 amb la finalitat de poder estudiar les maniobres necessàries que havien de fer els pilots dins les cabines durant les operacions d'aterratge.

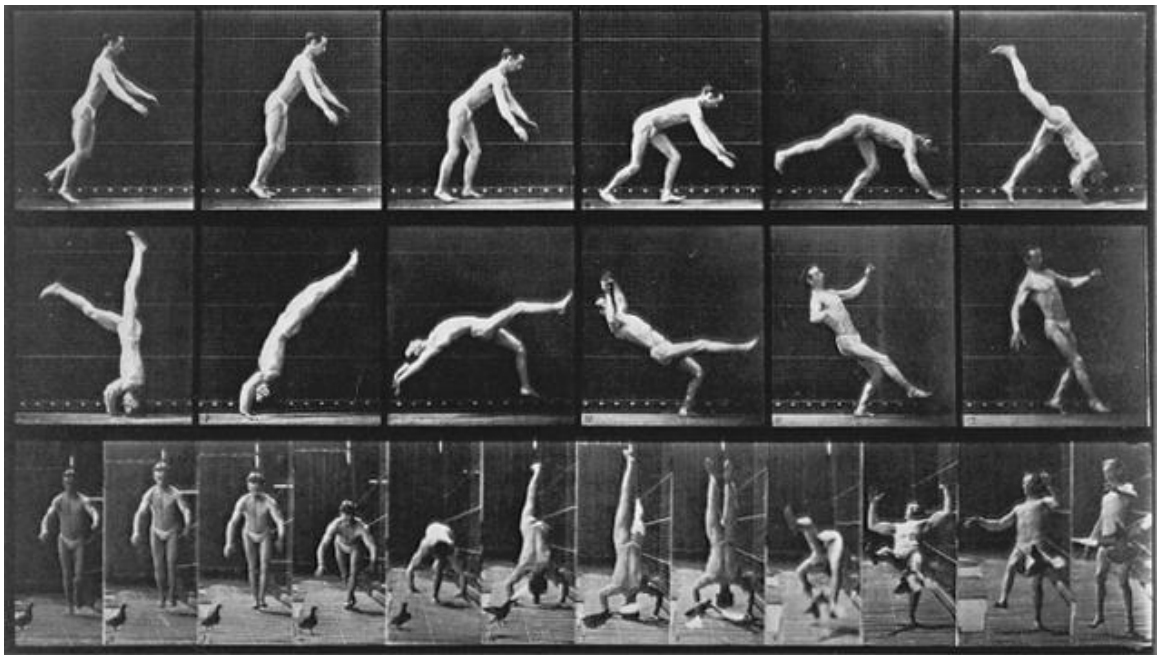
Per aquest primer estudi Fetter va crear una figura amb dotze punts de gir a la qual va anomenar com a First Boeing Man i que va fer servir de base per desenvolupar diversos models addicionals els quals va utilitzar per l'estudi de l'ús del panell d'instruments dels Boeing 747. Mitjançant l'articulació de la pelvis, del coll, les espatlles i els colzes va fer que els models creats simulessin tots els moviments del pilot.

El mateix Fetter en d'altres estudis posteriors va crear simulacions amb passatgers movent-se i caminant pels passadissos dels avions de Boeing. En aquestes simulacions les figures ja havien incrementat els seus punts de gir fins a tenir trenta articulacions.



First Boeing Man. William Fetter. 1959

L'any 1970 un dels models de Fetter va ser utilitzat en un spot comercial de televisió per a la Norelco⁵². Possiblement aquest va ser la primera vegada que van fer-se servir els gràfics d'ordinador en la publicitat comercial. L'addició de dotze juntes addicionals a aquest primer model va donar lloc a una segona versió la qual va ser utilitzada per generar un conjunt de seqüències d'animació basades en sèries de fotografies realitzades per Eadweard Muybridge.



L'any 1977, Fetter va crear un model d'home i un de dona basat en xifres obtingudes en dades estereomètriques⁵³. Aquestes xifres podien ser mostrades com una sèrie de polígons de colors en forma de trama.

⁵²Tot i trobar diverses referències on es parla d'aquest spot no l'he pogut trobar enlloc. El que si he trobat és un videoreportatge amb l'obra de Fetter com a protagonista fet als Bell Telephone Laboratories l'any 1968 que pot il·lustrar igualment el tema pel que fa a la qualitat i forma d'obtenció dels gràfics d'ordinador fets aleshores. El clip pot visualitzar-se en aquesta URL: https://www.youtube.com/watch?v=phVN_HS5Fy8

⁵³La estereometria o geometria espacial és la branca de la geometria que estudia les propietats i mesures de les figures geomètriques en l'espai tridimensional. La geometria espacial es basa en un sistema format pels tres eixos X, Y i Z.

Basant-se en els models de Fetter la Chrysler Corporation va crear el Cyberman⁵⁴, un model desenvolupat per a l'estudi de l'activitat humana al volant d'un cotxe. Es tractava d'una figura de pal de quinze punts de rotació la qual podia ser manipulada lliurement per l'usuari.

Posteriorment la Universitat de Dayton (Ohio) va crear el Combiman⁵⁵. Aquest model, que estava basat en un recull de mesures d'un ampli grup de població, disposava de trenta-tres enllaços, dos dels quals mantenien el model vinculat al seient. La novetat que aportava el Combiman és que per primera vegada els usuaris podien alterar les diferents longituds de les extremitats i dels segments per personalitzar-lo a diferents necessitats.

Sistemes inicials d'animació basats en cinemàtica

El 1985, Jane Wilhelms de la Universitat de Califòrnia va publicar una tesi en la qual descriu un sistema d'animació d'una figura articulada a la qual va anomenar sota el nom de Deva⁵⁶. Aquesta figura podia produir moviments especificats tan sota paràmetres de cinemàtica com sota comportaments propis de la dinàmica.

Deva era un sistema molt complert el qual permetia processar càlculs dinàmics i càlculs cinemàtics però tota la informació de sortida i tota la visualització es produïa dins del seu propi sistema sense possibilitat de treballar les dades a banda o de poder veure les animacions fora d'aquest sistema. Les funcions de control que governaven el moviment de Deva van ser creats i modificats amb l'editor de control de moviment Virya.

L'editor Virya permetia que l'animador definís l'estructura de la figura articulada fent ús d'un llenguatge propi el qual generava un arxiu de codi ASCII amb tota la informació sobre els noms dels

⁵⁴El propòsit d'aquest model era ajudar-sedels mètodes informàtics en la solució als problemes de disseny dels automòbils amb anterioritat a la construcció de maquetes de mida sencera. Amb això la construcció de maquetes a escala 1:1 era més ràpida i eficaç pel fet que ja contemplava solucions als problemes detectats amb la representació en 3D.

⁵⁵Combiman (Computerized biomechanical man) era un model dissenyat per a la recerca en el disseny i l'avaluació d'aeronaus encarregada pel Laboratori d'Investigació Mèdica Aeroespacial

⁵⁶Deva era un sistema on l'animador havia de definir cadascuna de les característiques de la figura articulada mitjançant la creació d'un conjunt de funcions de control responsables del moviment i de cada grau de llibertat de les rotacions.

segments corporals, els graus de llibertat disponibles de cadascuna de les unions de la figura i la connectivitat entre els segments corporals i les articulacions.

Les figures que el sistema admetia no podien tenir ni més de 12 segments ni més de 36 graus de llibertat de rotacions. Això era una conseqüència directa de les limitacions que imposava la sobrecàrrega computacional que pels ordinadors d'aleshores significava haver de treballar simulant les tres dimensions.

Els experiments d'animació amb Deva van ser moviments simples com per exemple el de alçar i baixar un braç, simular l'equilibri aixecant una cama o la realització d'una acció de seure. Tot i que el moviment resultant era força realista, la solució i els coneixements tècnics necessaris per aconseguir aquestes representacions amb Deva eren massa costosos tant a nivell de recursos computacionals com a nivell de coneixements matemàtics i de programació que havia de tenir l'animador. A banda d'això les seqüències d'animació, les quals no duraven gaire més d'un parell segons, requerien moltes hores o fins i tots molts dies de processat de dades per part de la màquina.

L'any 1988 aquest problema es va alleugerir una mica com a conseqüència de la construcció d'un nou model creat per Wilhelms i Forsey amb el qual era possible la manipulació interactiva de tota figura articulada. El model de Wilhelms i Forsey utilitzava una formulació recursiva⁵⁷ computacionalment eficient però amb una important dificultat ja que no resultava gens intuïtiu, menys encara per molts animadors ja que majoritàriament tenien els seus orígens i la seva formació al voltant de les arts, molt lluny per tant de moments de forces o d'operacions vectorials que demandava el nou model.

El model híbrid: cinemàtica i dinàmica

El 1989, Armin Bruderlin i Thomas Calvert de la Universitat Simon Fraser del Canadà van presentar un model de caminar que van anomenar com a Klaw⁵⁸ i que incorpora tant el control cinemàtic i

⁵⁷ En una formulació recursiva, un objecte (una funció) en crida i dona ordres a un altre el qual les executa. Aquest és un procés molt habitual en programació informàtica orientada a objectes però al mateix temps permet que es puguin crear funcions que puguin cridar-se a si mateixes amb la qual cosa pot arribar-se a crear un bucle infinit del qual pugui ser impossible sortir. Quan això passa s'atura el programa que s'estigui fent servir i es bloqueja tota activitat que s'estigui duent a terme a l'ordinador.

⁵⁸Klaw són les sigles de Keyframe Less Animation Walking

com el dinàmic. Un dels principals objectius del Klaw era representar el cicle de caminar d'un humà de manera realista i simulant a més, diverses característiques com per exemple la llargada de la passa, la freqüència d'aquesta i la velocitats de la passa.

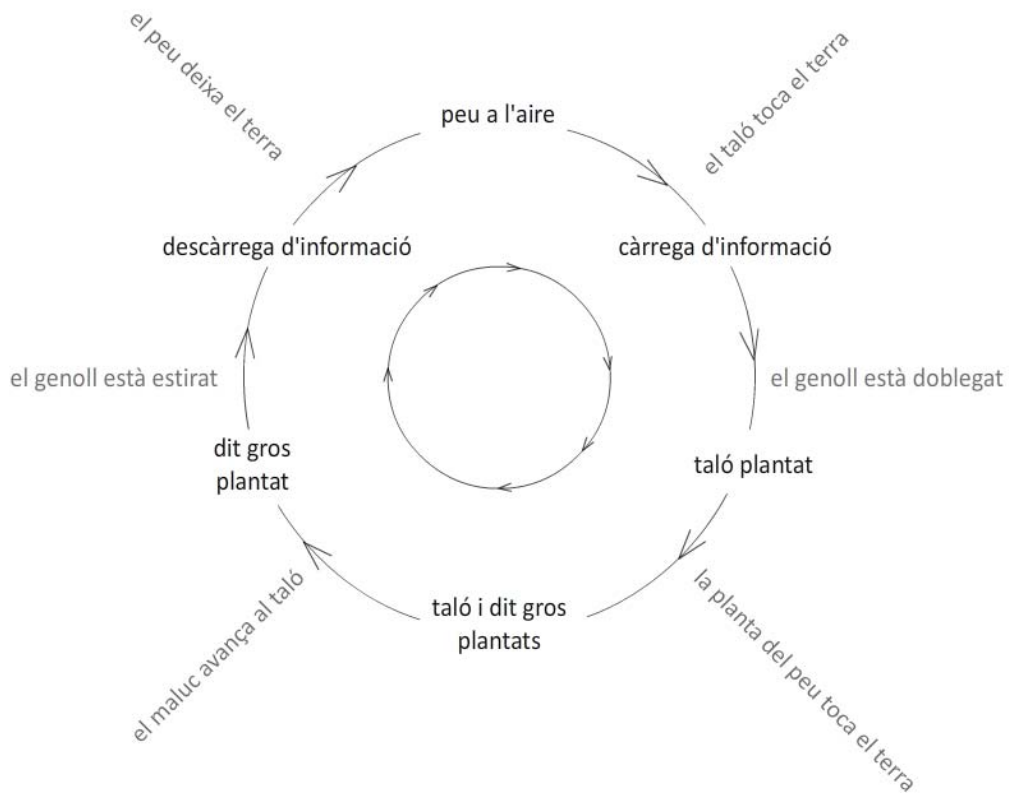
L'animador no solament podia proporcionar els tres paràmetres abans esmentats els quals són bàsics i fonamentals per a la locomoció sinó que també podia definir l'alçada i la massa del personatge que havia de caminar. Si l'animador no especificava algun d'aquests paràmetres o cap d'ells, el sistema calculava de forma automàtica els paràmetres que faltaven basant-se únicament en l'alçada del model al qual s'havia d'aplicar el cicle de caminar. Amb aquest sistema, l'animador podia a més personalitzar la locomoció i especificar altres atributs com podien ser la quantitat de rotació de la pelvis o l'alçada de l'espai lliure dels peus durant la fase d'impulsió. Totes les entrades d'informació del sistema s'especificaven en termes i dades conegudes per un animador amb la qual cosa ja no calia ser matemàtic o enginyer per poder realitzar animacions digitals 3D de tall realista⁵⁹.

Amb posterioritat el control del cicle de locomoció es va canviar per un model jeràrquic.

Un primer nivell de la jerarquia transformava els paràmetres fonamentals de locomoció en una sèrie de limitacions de pas. Aquestes limitacions incloïen l'angle màxim que podien tenir les cames i així com la flexió del genoll i la forma de plantar del turmell.

Un segon nivell supervisava constantment els canvis en l'estat del model durant el cicle de la marxa. Els canvis d'estat es produïen tant en el moment en que una extremitat entrava en la fase de suport com mentre aquesta extremitat estava a l'aire en ple el balanceig.

⁵⁹Un model similar al Klaw encara és avui en dia operatiu per a la creació automàtica de passos que pot fer-se des de softwares com el 3Ds Max d'Autodesk



Esquema de supervisió dels canvis d'estat del model durant el cicle de caminar

El Klaw generava el moviment a través de l'aplicació d'algoritmes interns, algoritmes de màquina on l'usuari no podia intervenir, basats en moviments cinemàtics i dinàmics. En aquest sistema els algorismes dinàmics van ser emprats com un punt de partida per a l'obtenció del moviment de les cames. Aquests algorismes consistien en un conjunt d'equacions aplicades al cos i les cames. Les equacions, formulades per matemàtics però del tot desconegudes pels animadors, es van obtenir pel mètode de Lagrange⁶⁰. Les oscil·lacions de rotació de peus i braços es van simular emprant algoritmes cinemàtics mentre que d'altres algorismes s'aplicaven al cos per animar determinades variables que afecten directament a la forma de caminar.

⁶⁰ El mètode de Lagrange permet trobar l'extrem d'una funció la qual conté diverses variables subjectes a una o més restriccions.

Els resultats preliminars amb Klaw van deixar entreveure que el sistema podia produir una àmplia gamma d'animacions humanes d'aparença realista fetes gairebé a temps real. Però donat que el model havia estat creat pensant en un cicle de caminar que es produïa únicament sobre d'una superfície dura i rígida la qual tenia a més amb un alt coeficient de fricció, el sistema no era capaç de produir representacions fidedignes del cicle resultant sobre superfícies lliscants com podien ser pistes de gel o sobre d'altres de toves com seria el cas d'inflables d'aire o de matalassos d'espuma. Aquest problema encara avui en dia no s'ha solucionat ja que el sistema de passos automàtics de l'Autodesk 3Ds MAX té, en aquest sentit, gairebé les mateixes mancances que les que tenia el Klaw no permetent triar la superfície sobre la que es desenvolupen els passos automàtics.

Els models d'esquelets actuals

Els esquelets actuals són força similars al Klaw, estan igualment organitzats jeràrquicament però a diferència d'aquell disposen d'un punt fixat en el centre de masses del propi esquelet el qual fa les funcions d'arrel de tot l'esquelet. A aquest centre de masses li correspon controlar els paràmetres globals de translació, escala i rotació de tot el conjunt en valors de coordenades de transformació mundial (world coordinates). La resta dels segments de l'esquelet s'obtenen mitjançant la transformació global utilitzant tots els segments en la ruta jeràrquica que connecten l'arrel amb cadascun dels segments i aquests amb els seus fills immediats fins a arribar als extrems dels esquelets. Els angles de les articulacions es representen en un marc de coordenades local en relació amb l'articulació del pare corresponent. La transformació a coordenades orientades al món s'obté per una traducció de les transformacions posicionals, rotacionals i d'escala dels segments respecte de l'arrel.

El gran avantatge, i la principal diferència entre el Klaw i els models actuals és el fet que les coordenades de cada part de l'esquelet siguin representades en coordenades locals. Això fa que les dades d'animació puguin ser fàcilment importades d'un esquelet a un altre amb l'únic requisit de que, encara que amb dimensionats diferents, ambdós esquelets tinguin estructures iguals.

El mètode clàssic per a la deformació de l'exterior del model i probablement la tècnica més emprada actualment en l'animació de personatges 3D és la deformació impulsada des de l'esquelet. La deformació de la malla d'un personatge seguint aquest mètode va ser tractada per primera vegada durant els anys 70 en el treball d'animació facial que van desenvolupar Frederic Parke i Keith Waters i que van acabar plasmat en el llibre *Computer facial animation*. L'any 1987 Nadia Magnenat-Thalmann i el seu marit David Thalmann van ser els primers a treballar la deformació d'un cos humà sencer impulsada des d'un esquelet subjacent.

També Nadia Magnenat-Thalmann va ser qui va introduir el concepte d'operadors de deformació local directament dependents de les articulacions (JLD)⁶¹ utilitzats per deformar suaument la superfície de la pell. Aquest mètode funciona mitjançant l'assignació de pesos a cada vèrtex en funció de la proximitat a la que es troba l'os o ossos que l'afecten. La ubicació d'un vèrtex es calcula llavors per una combinació ponderada de la transformació de les articulacions que influeixen resultant aleshores models que són capaços d'adaptar-se a diferents posicions i situacions.

⁶¹ *Quan l'animador especifica la seqüència d'animació està definint el moviment fent servir un esquelet subjacent. Aquest esquelet és un model de malla simple o fins i tot linial només composta de segments líniais i punts articulats. Per poder animar el personatge l'animador ha de posicionar aquest esquelet d'acord al cos del model sintètic a animar. Aquesta operació ha de ser molt precisa i necessita temps. No obstant això, és un procés útil, perquè l'animació es calcula a partir de l'esquelet i és mitjançant els operadors JLD que es pot controlar l'evolució que prendran les superfícies a cada moment de l'animació.*

Mètodes per a l'animació de figures articulades

Els sistemes d'animació de figures i cossos articulats requereixen d'un suport on s'especifica la posició global del model i l'orientació que té tant pel que fa a la figura entesa com una única unitat com pel que es refereix a cadascuna de les seves parts o segments corporals. La posició està controlada pels tres eixos XYZ lligats al controlador de posició i escala corresponents (Position XYZ i Scale XYZ) i pels eixos d'orientació lligats a les rotacions que permet un controlador Euler (Euler XYZ).

El procediment comú és deixar que un punt del model, que és el que fa de centre de masses, sigui el que defineixi la posició de la figura i els angles d'orientació de tots els segments articulats vinguin definits per la relació local respecte de l'orientació dels segments adjacents del punt que marca la posició. Per tant, cada segment té els tres graus, és a dir els tres eixos, de llibertat de rotació i conseqüentment el segment que defineix la posició de suport de la figura té també tres eixos de llibertat.

Existeixen moltes tècniques d'animació diferents per determinar aquestes posicions i orientacions. Deixant de banda l'animació basada en keys posades per l'animador, la més convencional, els dos mètodes més emprats impliquen la captura de la posició del cos i els angles de les extremitats d'un humà viu. Aquests dos mètodes són la rotoscopia y el MoCap. La rotoscopia és la digitalització de les coordenades i dels eixos d'una seqüència en moviment. El Mocap (Motion Capture) és l'enregistrament d'una seqüència de moviment utilitzant una instrumentalització adequada basada en sensors i escàners tridimensionals. En aquest sentit a l'Annex 3 s'explica pas a pas com fer una captura de moviment fent servir una Kinect que no és altra cosa que un escàner 3D disponible a nivell domèstic.

Moltes seqüències d'animació recents s'han produït utilitzant una o ambdues d'aquestes tècniques. No obstant això, tots dos mètodes tenen serioses deficiències ja que l'animació obtinguda per qualsevol d'aquestes tècniques es limita a les seqüències generades actuant de conformitat a unes condicions prefixades, de forma que, el fet de canviar el conjunt de condicions ambientals com per exemple la substitució d'una escala per una pista de gel, requereix de la regravació o el rotoscopiament de tot el moviment en les noves condicions.

Ambdós sistemes d'animació estan basats en el keyframing. El treball a través de fotogrames clau simula el moviment obligant al programa a que sigui ell el qui creï l'animació mitjançant l'aplicació

d'algorismes d'interpolació⁶² i fent per tant un conjunt ordenat de fotogrames intercalats els quals contenen les posicions dels cossos d'acord a la forma seqüencial necessària per poder reconstruir el moviment.

Donat que un cos humà pot realitzar moviments complexos els quals no sempre es poden representar fàcilment, els mètodes d'animació han d'incorporar necessàriament o bé mètodes d'interpolació força complicats o bé que l'animador marqui el moviment de forma manual directament sobre l'arxiu amb el que això comporta tan pel que fa al temps de treball com a la quantitat de recursos emprats tan a nivell de personal com de maquinari.

Actualment pot aplicar-se qualsevol moviment sobre els sistemes d'ossos i esquelets que ja trobem prefets en la majoria de programaris 3D. Aquests esquelets funcionals no només serveixen perfectament per descriure el moviment pel que fa a la posició o l'orientació, sinó que també permeten simular la velocitat o fins i tot a l'acceleració i desacceleració que pateix de cadascuna d'aquestes parts en realitzar un moviment concret. Tot això però es fa sense tenir en compte les forces.

En aquest sentit l'animació fent servir físiques complexes i dinàmiques de sistemes és molt més fiable i eficient per representar forces i rotacions. El problema que tenen les representacions d'aquesta mena és que és necessari conèixer aspectes com la massa o la inèrcia translacional i rotacional de cada segment del cos per poder representar un moviment correcte. A nivell d'usuari això implica que aquests aspectes determinin equacions complexes a través de les quals es possible representar el moviment. Aquestes equacions solen ser de segon ordre, equacions diferencials molt complexes, totalment fora del meu abast i del de la majoria dels animadors, les quals han de ser resoltes numèricament per físics o enginyers.

El principal avantatge de l'anàlisi dinàmica del moviment és la seva capacitat per predir correctament aquest moviment basant-se en principis mecànics. L'anàlisi dinàmic pot predir amb exactitud el moviment en entorns espacials com pot ser un lloc de gravetat inexistent o situacions en les quals una representació cinemàtica realista pot ser difícil o impossible d'obtenir pel perill que pot comportar.

⁶²La diferència entre un fotograma clau i un interpolat és que mentre que al fotograma clau pot ser-li aplicada la animació i ajustades les corbes de moviment de qualsevol paràmetre que tingui la figura, els fotogrames interpolats no permeten cap mena d'intervenció ja que són generats directament per la màquina.

El principal inconvenient amb el que ens trobem la immensa majoria d'artistes i d'animadors és que les representacions basades en dinàmiques s'han d'especificar en termes de forces i moments i mentre que algunes forces com la de la gravetat són molt evidents i tots la reconeixeríem ràpidament, la majoria d'animadors no tenim prou coneixements pel que fa a magnituds de forces ni a parells de torsió o a altres conceptes necessaris per produir un moviment concret. Tot i això, cada cop som més els animadors i modeladors 3D que veiem que l'anàlisi dinàmic serà en un futur proper el mètode adequat a utilitzar en animació donat que cada vegada és més senzill implementar animacions de físiques complexes sense haver de saber resoldre un conjunt d'equacions les quals, a banda de ser molt complicades, fan que el moviment aparegui com quelcom abstracte, amagat rere números i lletres i impossible de veure i gestionar gràficament.

Escultura o animació: la necessitat de la retopologia

Una acurada representació de cos humà implica un modelat realista tant de la seva estructura esquelètica com de la forma, posició i orientació dels òrgans interns així com del músculs que componen tot el cos. La forma, la mida i les proporcions relatives dels diversos components de l'estructura que farà de base, l'esquelet funcional, han d'estar en conformitat amb unes normes antropomètriques estàndard⁶³, per tal de modelar i poder posteriorment animar amb prou precisió la variabilitat de formes humanes en diferents situacions.

La precisió de qualsevol animació 3D depèn críticament de com és d'exacte el model que es faci servir i de com haguem definit les seves capes i estructures, tant les internes com les externes. Depèn de si el model simula tenir una superfície dura com podria ser per exemple un robot o de si representa un ésser orgànic com un humà o fins i tot una barreja entre ambdós. Això implica que la tècnica a emprar en cada cas depengui molt de l'artista i de les eines que tingui disponibles i que, en última instància, les capacitats artístiques de l'animador determinin quina tècnica és la més convenient d'utilitzar en cada cas.

En qualsevol cas i de forma genèrica el mètode de treball més estès entre els modeladors digitals consisteix a crear el model sintètic com si estiguéssim fent una escultura digital. Aquesta és una forma de treballar que per les seves capacitats tant additives com sustractives cada vegada és conceptualment més similar al modelat i a la talla tradicionals.

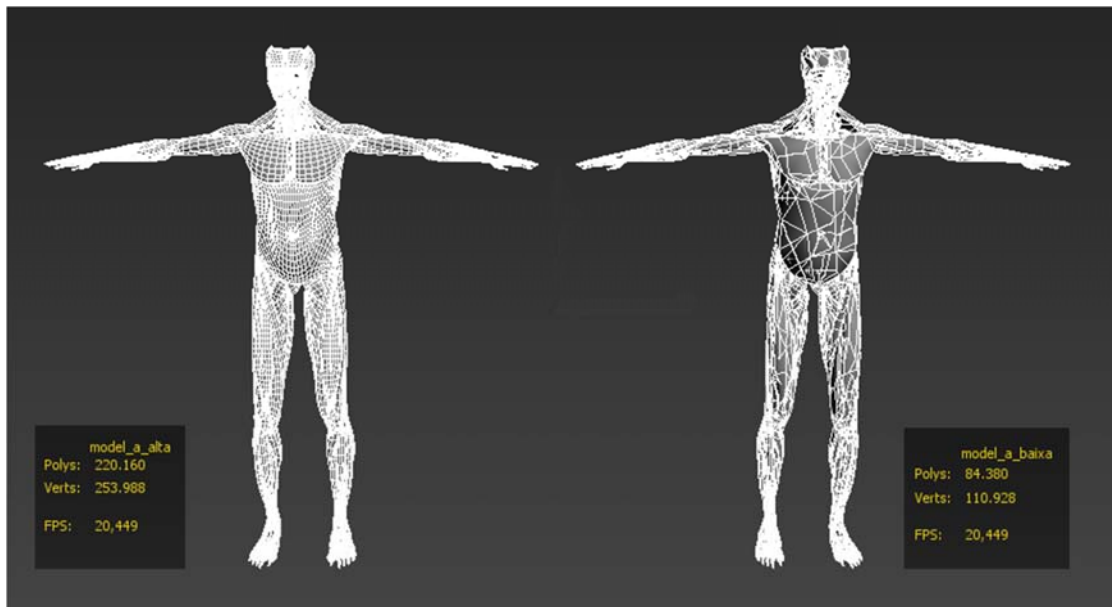
El modelador actual treballa de forma lliure i creativa i els resultats obtinguts són d'alta qualitat. Tot i així no són massa adequats per fer animació ja que arrossegueu un excés de polígons la qual cosa dificulta el procés d'animació i obliga a l'animador a haver d'intervenir directament sobre el model per esmenar les errades de malla que es generen per un excés d'informació.

Quan esculpim físicament, igual que quan en un entorn digital modelem lliurement generalment creem models d'alta resolució, models que tenen molta qualitat com a tals però que no serien gens

⁶³ Es consideren com a normes antropomètriques estàndard les normes explicitades en el llibre *Anthropometric Standardization Reference Manual* de Timothy G. Lohmann, Alex F. Roche y Reynaldo Martorell publicat l'any 1988 per Human Kinetics Books

amigables si els haguéssim d'animar ja que en crear-los generem una gran quantitat de polígons. Un model digital apte per a ser animat fàcilment ha de consistir en un conjunt de polígons alineats de manera eficient de forma que generi formes correctes amb la menor quantitat possible de vèrtex i arestes per evitar sobrecàrregues del maquinari i excessos de temps de render.

Així doncs per convertir una escultura digital en un model útil, ha de passar per un procés de simplificació. Aquest procés, conegut sota el nom de retopologiat no té un únic resultat, una solució única, sinó que té solucions diverses que cada animador ha de decidir. En tots els casos però, té com a propòsit fonamental reorganitzar l'alineació de la topologia de base i canviar la quantitat de polígons del model per tal d'optimitzar-lo per a l'animació sense que això signifiqui una pèrdua significativa de qualitat visual.



Els models obtinguts després de l'aplicació d'aquest procés s'anomenen models de baixa o mitja resolució segons la quantitat d'optimització que han sofert i l'aparença que tingui la topologia de la malla final en comparació amb la malla d'alta resolució.

L'any 2003 en el seu llibre *The Art of 3D: Computer Animation and Effects*, Isaac Victor Kerlow analitzà els efectes dels models retopologiat i com afectava això a l'animació establint que el nivell apropiat de densitat de malla d'un model depén directament de la funció que tingui aquest model. Així per exemple podem considerar com a model de baixa poligonització a qualsevol model estàtic, per més polígons que tingui, que hagi de servir com a model pedagògic però si aquest mateix

model ha de formar part d'un videojoc serà del tot necessari retopologiar-lo ja que per aquesta funció seria considerat com a model d'alta poligonització

El mateix passaria si un model s'ha de veure des de molt a prop dins l'escena, en aquest cas sempre que sigui possible haurem de treballar amb models d'alta, o com a mínim de mitja, poligonització mentre que aquells models situats al fons de l'escena podran ser de baixa poligonització la qual cosa ajudarà a fer processats molt més ràpids.

CAPÍTOL IV

Visualitzadors 3D

Els gràfics 3D s'han convertit en una cosa molt popular fins al punt que s'han creat des de plugins que permeten visualitzar gràfics 3D on line a interfícies de programació d'aplicacions (API) especialitzades per facilitar els processos de visualització dels gràfics tridimensionals. Totes aquestes interfícies han demostrat ser vitals per als desenvolupadors de hardware ja que obren camins als programadors per accedir al maquinari de manera abstracta, aprofitant els avantatges dels diferents sistemes de gestió i acceleració de que disposa l'usuari i que actualment són OpenGL, Direct3D i RenderMan⁶⁴.

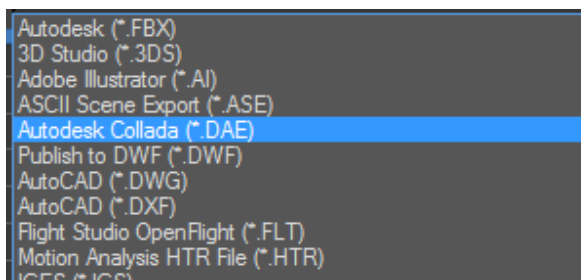
Per aquesta tasca s'han provat quatre visualitzadors diferents dos d'ells, l'Sketchfab i l'FBX Review depenen de plugins específics . Els altres dos han d'integrar-se a la web a través de Flash Player, es tracta en aquest cas d'Alternativa3D i Flare3D.

⁶⁴OpenGL vol dir Open Graphics Library. És una especificació estàndard que defineix una API multilinguatge i multiplataforma per a aplicacions que generen gràfics 3D. Originalment va ser desenvolupada per Silicon Graphics.

Direct3D forma part del conjunt de biblioteques per a multimèdia de DirectX propietat de Microsoft. És en una API per gràfics 3D a específica de tots els productes d'aquesta marca comercial que necessiten representar gràfics 3D: Windows i Xbox.

RenderMan és alhora un programari i una API. Va ser desenvolupat per la PIXAR per poder treballar i renderitzar ràpidament i amb altíssima qualitat fent servir granjes de render.

Alternativa3D i Flare3D són dos motors gràfics que suporten Adobe Flash Player a través de la API⁶⁵ Molehill. Ambdós motors treballen en base a arxius de Collada⁶⁶ creats directament des del mòdul d'exportació d'Autodesk Collada disponible a 3Ds MAX.



Molehill és un accelerador 3D que proporciona l'energia necessària per gestionar amb solvència gràfics 3D en pantalles de Flash Player i Adobe AIR. La visualització s'aconsegueix a través de DirectX i OpenGL. Funciona amb tots els sistemes operatius i plataformes populars.

L'Sketchfab és un servei per publicar i integrar models 3D en línia sense necessitat d'haver de saber res de programació per part del modelador ni d'haver de disposar de cap pluguin instal·lat al navegador per part de l'usuari final. També funciona sobre totes les plataformes sempre i quan el navegador que es faci servir sigui compatible amb WebGL⁶⁷.

L'FBX Review és un visualitzador gratuït creat per Autodesk compatible amb totes les plataformes i interfícies en el qual es poden visualitzar de forma fàcil gràfics 3D sense haver de saber res de

⁶⁵Una API és un conjunt d'ordres, funcions i protocols que els programadors poden utilitzar en la construcció d'aplicacions per a un determinat programari o sistema operatiu. Les APIs faciliten als programadors poder emprar funcions predefinides de forma que puguin interactuar amb el programari i no haver així d'escriure la programació des de zero. Però l'aspecte més important de qualsevol API és que no és necessari saber com està construïda per dins ja que per poder-la aplicar en tenim prou amb saber que hi és, saber què fa i conèixer com podem interactuar amb ella.

⁶⁶La paraula COLLADA correspon a COLLABorative Design Activity. Es tracta d'un format d'arxiu d'intercanvi per a aplicacions 3D el qual defineix un esquema XML estàndard i obert apte per a l'intercanvi d'actius digitals entre diverses aplicacions de programari de gràfics.

⁶⁷WebGL1 és una especificació estàndard gestionada pel consorci Khronos Group (consorci de tecnologia sense ànim de lucre) la qual va ser creada per mostrar gràfics 3D en navegadors web i que encara es troba en fase de desenvolupament. WebGL permet mostrar gràfics 3D sense necessitat de pluguins.

programació. Per les seves característiques aquest és un complement ideal per a l'estudi de les variacions en l'animació dels models que es planteja en aquest treball.

Alternativa 3D

Alternativa3D té suport per a càrrega d'animació de models 3D exportats a arxius Collada dins de la interfície de Flash Player. El codi que es detalla a continuació correspon a la càrrega d'un arxiu 3D dins d'aquesta interfície el qual mostra tres ossos visibles des de tots els punts de vista. S'ha optat per mostrar un arxiu reduït ja que quan es feia la prova amb arxiu amb molts polígons el Flash Player es quedava bloquejat i no responia per un problema de sobrecàrrega de càlcul.

Aquest és el codi.

```
package
```

```
{
```

```
/*Les animacions en Alternativa3D es controlen amb dues classes. d'una banda AnimationClip  
conté les dades reals de l'animació.*//
```

```
import alternativa.engine3d.animation.AnimationClip;
```

```
/*AnimationController fa servir un objecte AnimationClip per reproduir l'animació.*//
```

```
import alternativa.engine3d.animation.AnimationController;
```

```
import alternativa.engine3d.containers.DistanceSortContainer;
```

```
import alternativa.engine3d.core.Object3D;
```

```
//El model 3D es carrega fent servir la classe ParserCollada.
```

```
import alternativa.engine3d.loaders.ParserCollada;
```

```

import alternativa.engine3d.materials.TextureMaterial;

import flash.events.Event;

public class ModelLoading extends Main

{

    protected static const DEGREES_TO_RADIANS:Number = Math.PI / 180.0;

```

/*D'aquesta forma no cal preocupar-se pels problemes de càrrega ni saber com funciona internament ja que la classe s'encarregarà de carregar el model 3D dins el reproductor de Flash. En realitat un arxiu DAE és un arxiu XML que la única cosa que fa és emmagatzemar i transferir dades en format text les quals permet incorporar en d'altres llocs. Vist això en teoria podria haver incorporat qualsevol arxiu XML però el compilador llença un error si quan s'incorpora un arxiu XML amb format MIME és per això que s'incorpora com a arxiu binari del tipus application/octet-stream. Tal com identifica Microsoft a la seva pàgina de suport (<http://support2.microsoft.com/kb/264968/es>) aquest podria ser un problema del Servei d'informació d'Internet. La pàgina de Microsoft ofereix una solució la qual no s'ha provat per evitar que altres aspectes del programari que es fa servir habitualment puguin quedar afectats pel canvi.*/

```

[Embed(source = "retall.dae",mimeType = "application/octet-stream")]

```

```

protected var BeastModel:Class;

```

```

//Incorporar la textura del model .dae

```

```

[Embed(source = "colors_retall.jpg")]

```

```

protected var BeastTexture:Class;

```

```

/*Els objectes 3D inclosos dins l'arxiu .dae s'inclouran dins del contenidor.*/

```

```
protected var modelContainer:DistanceSortContainer;
```

*/*Necessitarem un conjunt de controladors d'animació, AnimationControllers, per poder manipular els objectes carregats.*/*

```
protected var controllers:Vector.<AnimationController > ;
```

```
public function ModelLoading()
```

```
{
```

```
    super();
```

```
}
```

```
override protected function initScene():void
```

```
{
```

*/*Comencem per crear un nou DistanceSortContainer el qual contindrà els diversos objectes 3D de l'arxiu Collada en el cas que aquest tingui més d'una malla. Molt sovint el que es veu com un únic objecte 3D a la pantalla es compon d'una sèrie d'objectes en 3D individuals és per això que es millor afegir un contenidor, d'aquesta forma podrem posar el que ens convingui a dins i després en tindrem prou amb manipular el recipient.*/*

```
modelContainer = new DistanceSortContainer ;
```

```
rootContainer.addChild(modelContainer);
```

*/*La ParserCollada espera un XML que contingui els models que s'han de carregar. Per tal que això sigui possible aquí es converteix l'arxiu de Collada en un objecte XML*/*


```

var xml:XML = new XML(new BeastModel );

//Es crea una nova instància de la classe ParserCollada.

var parser:ParserCollada = new ParserCollada ;

//S'analitzen les dades de l'XML.

parser.parse(xml);

/*Aquí és crida la textura i s'aplica a l'objecte de ParserCollada.*/

parser.textureMaterials[0].texture = new BeastTexture .bitmapData;

/*La propietat jerarquia permet declarar com a primer nivell els arxius carregats des de l'arxiu
Collada. Mitjançant l'addició dels objectes 3D en el contenidor és possible fer-los servir com una
sola unitat.*/

for each (var child:Object3D in parser.hierarchy)
{
    modelContainer.addChild(child);
}

```

*/*Es converteixen el graus sexagesimals a radians sobre l'eix de les Xs i s'escala el contenidor en els tres eixos.*/*

```
        modelContainer.rotationX = 90 * DEGREES_TO_RADIAN;
modelContainer.scaleX = modelContainer.scaleY =
delContainer.scaleZ = 500;
```

*/*Es controlen les animacions a través d'un conjunt d'objectes d'AnimationController.*/*

```
        controllers = new Vector.<AnimationController > ;
```

*/*Per a cada objecte AnimationClip contingut en l'arxiu Collada (recordem a l'inici del codi ja s'ha dit que la classe AnimationClip conté la informació sobre l'animació que pugui tenir l'arxiu) es crea un nou objecte AnimationController i s'assigna l'objecte AnimationClip a l'arrel propietat.*/*

```
        for each (var animation:AnimationClip in parser.animations)
        {
            var controller = new AnimationController ;
            controller.root = animation;
            controllers.push(controller);
        }
    }
    override protected function onEnterFrame(e:Event):void
```

```

        {
            super.onEnterFrame(e);

            /*Finalment es crida a la funció update() per reproduir les animacions*/

            for each (var controller:AnimationController in controllers)
            {
                controller.update();
            }
        }
    }
}

```

Flare3D

Igual que en el cas d'Alternativa3D, Flare3D és una plataforma per a la creació de contingut 3D per a Flash que s'aprofita de la API Molehill i també com aquell no necessita de grans coneixements de programació per implementar-hi objectes 3D. El següent codi posa en escena un arxiu amb tres ossos i permet visualitzar-los des de qualsevol punt de vista.

```

import flare.basic.*;

// crea el visualitzador 3D

var scene:Viewer3D = new Viewer3D(this);

```

```
// es controla el procés de càrrega a l'escena

scene.addEventListener( Scene3D.PROGRESS_EVENT, progressEvent );

scene.addEventListener( Scene3D.COMPLETE_EVENT, completeEvent );

// es carrega l'arxiu extern 3D que s'ha exportat des del 3Ds MAX

scene.addChildFromFile( "ossos.zf3d" );

//comprova que els elements ja s'han carregat

function completeEvent( e:Event ):void
{
    scene.addEventListener( Scene3D.UPDATE_EVENT, updateEvent );
}

// actualitza tot el que hi ha a l'escena

function updateEvent( e:Event ):void
{
}
}
```



Imatges de generades amb Flare3D generades a partir del codi anterior.

Sketchfab

Sketchfab es un servei web per a publicar i compartir models 3D en temps real sense necessitat d'haver d'instal·lar cap pluguin al navegador.

Sketchfab està pensat per tal que artistes i dissenyadors així com professionals i empreses que treballen al voltant dels gràfics 3D puguin mostrar allò que fan i ofereixen.

Sketchfab no necessita de cap instal·lació, la única cosa necessària a banda d'haver de crear un compte d'usuari, és que el navegador que es faci servir sigui compatible amb WebGL.

El servidor d'Sketchfab s'encarregarà de processar el model i farà que es vegi a temps real. Per tal de facilitar la publicació a Sketchfab els creadors d'aquest espai han incorporat els seus propis exportadors de models amb la qual cosa és possible pujar models en diferents formats, això inclou des d'arxius .max a .obj passant per .3ds o els.skp de Google SketchUp.

FBX Review

FBX Review és una eina independent que permet als usuaris veure els models i les animacions 3D sense necessitat d'instal·lar cap plugin ni d'haver de tenir cap navegador amb característiques especials.

A diferència dels altres visualitzadors analitzats en aquest treball, l'FBX Review manté la qualitat visual del model fent possible al mateix temps el poder-ne visualitzar l'animació sobre la qual podem interactuar aturant-la o avançant-la frame a frame de forma que converteix aquest visualitzador en un magnífic ajudant a l'hora de poder estudiar i visualitzar postures concretes. Més

encara pel fet que admet diferents tipus de visualització del model que van des de la vista texturada a una vista wireframe passant pels ombrejats i la presència o l'absència de la il·luminació.

Tot això a més ve reforçat pel fet que l'FBX Review és compatible amb tots els sistemes operatius i plataformes possibles que van des d'ordinadors a tauletes o smartphones i a més a més amb un ampli ventall d'admissió d'arxius.

BIBLIOGRAFIA

- ALT, C. **The materialities of Maya: Making sense of Object-orientation**. Configurations (A journal of Literature, Science and Technology) Vol.10 Nº 3. Johns Hopkins University. Baltimore, 2002.
- BADLER, N.I. **Graphical behaviors and animated agents**. SIGGRAPH. Chicago, 1992.
- BASMAJIAN J. **Primary Anatomy**. Stipes Publishing Co. Champaign, 1998.
- BUBULIAN A. **Art in the Service of Anatomy**. Fifty-ninth Annual Meeting of the Medical Library Association. Kansas City, 1960.
- CERUZZI, P. **History of modern computing**. The MIT Press. Cambridge, 2003.
- CHADWICK, J. E. i 2 més. **Layered construction for deformable animated characters**. SIGGRAPH. Boston, 1989.
- DYN, N i 2 més **A butterfly subdivision scheme for surface interpolation with tension control** ACM Transactions on Graphics. New York, 1990.
- ESPINOSA, A. i 2 més. **Ajuste de superficies 3-D usando subdivisión de superficies de Catmull-Clark**. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2010.
- GALISON, P i 1 més. **Picturing science, producing art**. Routledge (grup Taylor & Francis). Oxfordshire, 2013.
- GALISON, P. **Image and Logic: A Material Culture of Microphysics**. The Chicago University Press. Chicago, 1997.
- GARDNER, H. **Creating minds. An anatomy of creativity**. Basic Books. New York, 1993.

GASKUEL, M. **Welding and pinching spline surfaces: new methods for interactive creation of complex objects and automàtic fleshing of skeletons.** Graphics Interface. Ontario, 1989.

GOLDFINGER, E. **Human anatomy for artists.** Oxford University Press, 1991.

GOURRET, J. i 2 més. **Simulation of object and human skin deformations in a grasping task.**SIGGRAPH. Boston, 1989.

GROWITZKE B i 1 més. **El cuerpo y sus movimientos. Bases científicas.**Ed. Paidotribo. Barcelona, 1999.

HOPPE, H. T. i 7 més. **Piecewise smooth surface reconstruction.** Computer Graphics. Orlando, 1994.

HSU, M. W. i dos més. **Direct manipulation of free-form deformations.** SIGGRAPH. Chicago, 1992.

ISENBRUG, M i 1 més **Streaming meshes.** University of North Carolina, 2010.

KERLOW, I.V. **The Art of 3D: Computer Animation and Effects.** John Wiley & Sons. West Sussex, 2004.

LECUYER, Ch. **Making Silicon Valley: Innovation and the growth of High Tech, 1930 – 1970.** The MIT Press. Cambridge, 2006.

LEE, Y. i 2 més. **Realistic modeling for facial animation.** SIGGRAPH. Los Ángeles, 1995.

LENOIR, T. **All but war is simulation: the military-entertainment complex.** Configurations (A journal of Literature, Science and Technology) Vol.8 N^o 3. Johns Hopkins University. Baltimore, 2000.

LOHMANN T.G. i 2 més. **Anthropometric Standardization Reference Manual.** Human Kinetics Books. Champaign, 1988.

LOOP, CH. **Smooth subdivision surfaces based on triangles.** Tesi del departament de matemàtiques de la Universitat d'Utah. 1987.

LOUKISSAS, Y.A. **Co-Designers: Cultures of computer simulation in architecture.** Routlege (grup Taylor & Francis). Oxfordshire, 2012.

- MAGNENAT-THALMANN, N i 1 més. **Complex models for animating synthetic actors.** IEEE Computer Graphics and Applications nº 11, IEEE Computer Society. Los Alamitos, 1991.
- MONHEIT G. i 1 més. **A kinematic model of the human spine and torso.** IEEE Computer Graphics and Applications nº 11, IEEE Computer Society. Los Alamitos, 1991.
- NIGG, B i 1 més **Biomechanics of the musculoskeletal system.** Wiley & Sons. West Sussex, 1999.
- PIERSON, M. **Special effects: Still in search of wonder.** Columbia University Press. New York, 2002.
- RUPRECHT, C i 3 més **3D Semantic Parameterization for Human Shape Modeling: Application to 3D Animation.** publicat a 3D Vision per la IEEE Computer Society. Los Alamitos, 2013.
- SCHEEPERS, F. i 3 més **A procedural approach to modeling and animating the skeletal support of the upper limb.** ACCAD. Ohio University, 1996.
- SCHEPPERS, F. i 3 més. **Anatomy-Based Modeling of the Human Musculature.** SIGGRAPH. Los Angeles, 1997.
- SEDERBERG, T. W. i 1 més. **Free form deformation of solid geometric models.** SIGGRAPH. Dallas, 1986.
- SINGH, K. **Realistic human figure synthesis and animation for VR applications.** Tesi doctoral de la Universitat d'Ohio, 1995.
- SUTHERLAND I. **A Man Machine Graphical Communication System.** Tesi doctoral del Massachusetts Institute of Technology, 1962.
- TALBOT, J. D. **Accurate charactererization of skin deformations using rang data.** Tesi doctoral de la Universitat de Toronto, 1998.
- WILHELMS, J. i 1 més **Anatomically based modeling.** SIGGRAPH. Los Angeles, 1997.

ANNEX 1: Models en estàtic



Model masculí: vistes de la malla



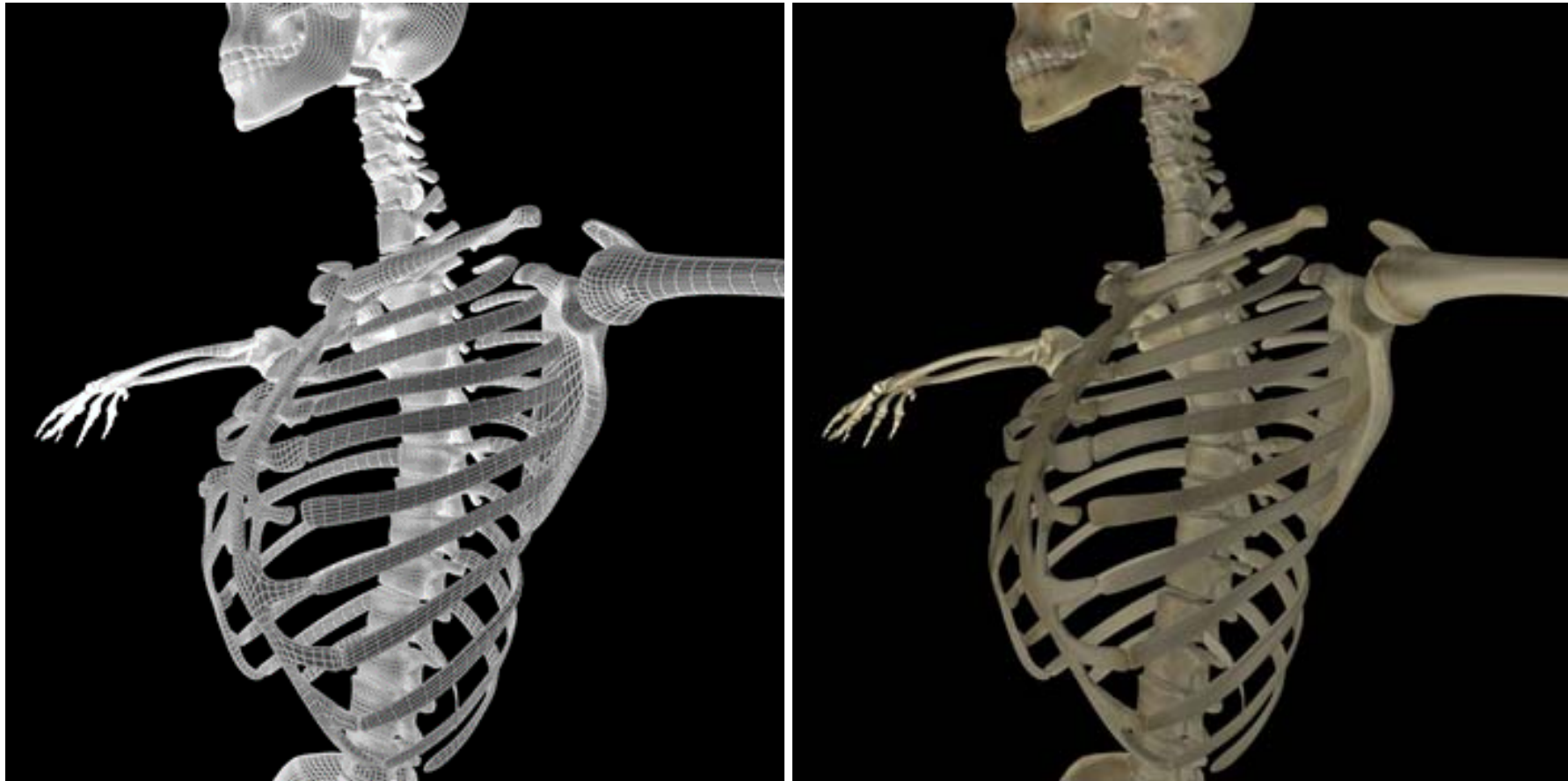
Model masculí: vistes de la malla



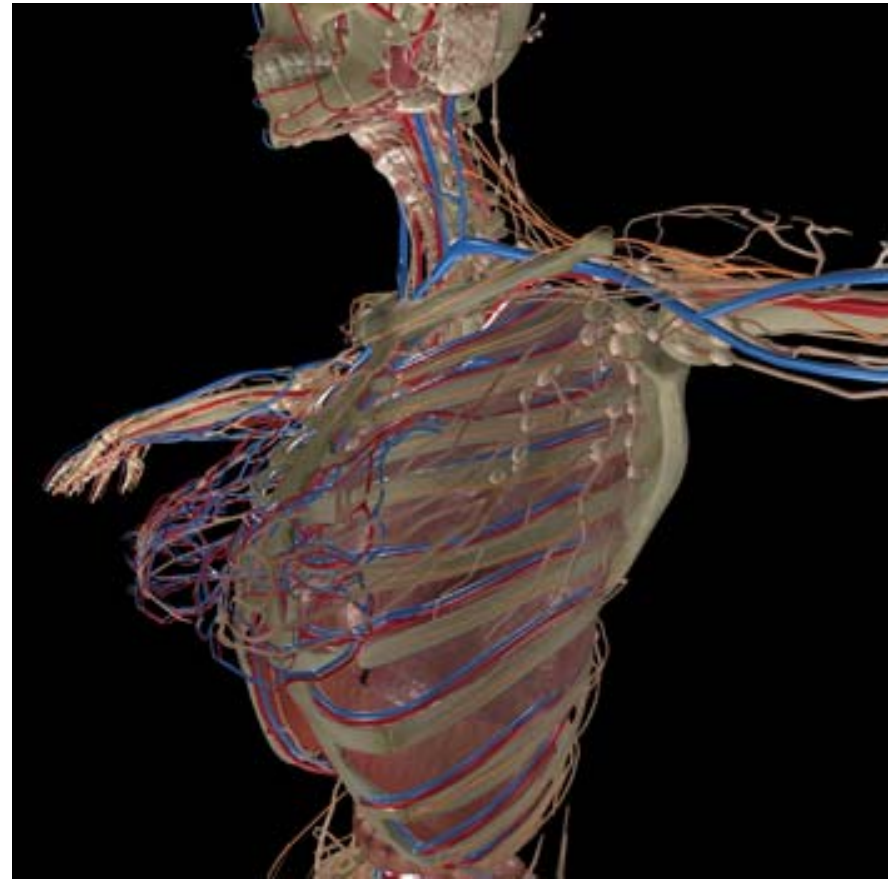
Model masculí: vistes texturades



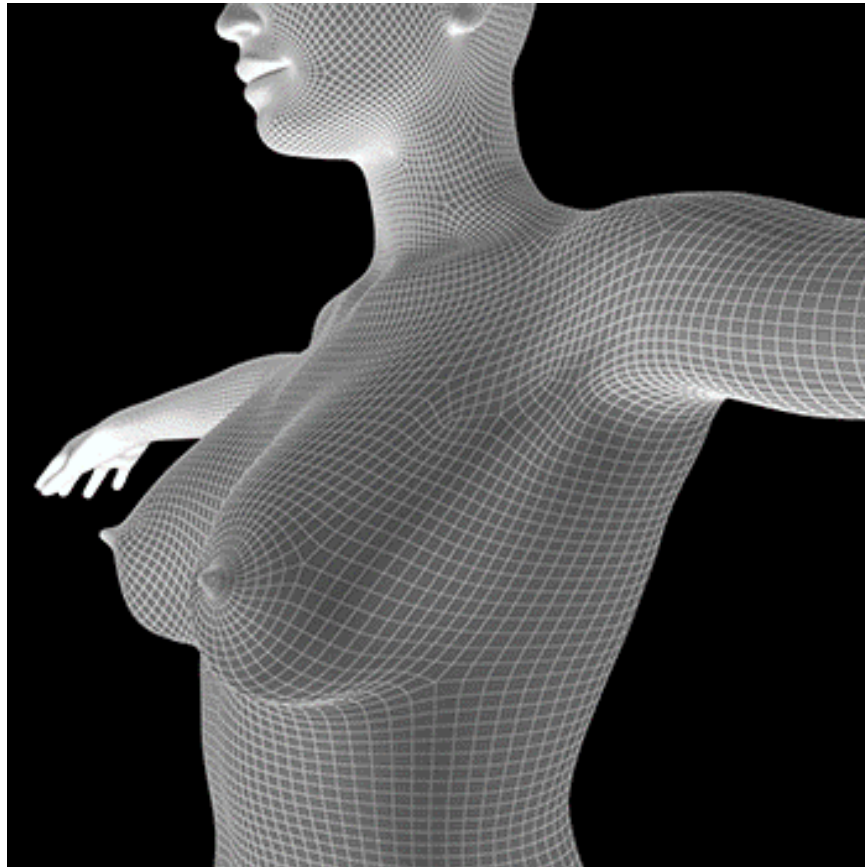
Model masculí: vistes texturades



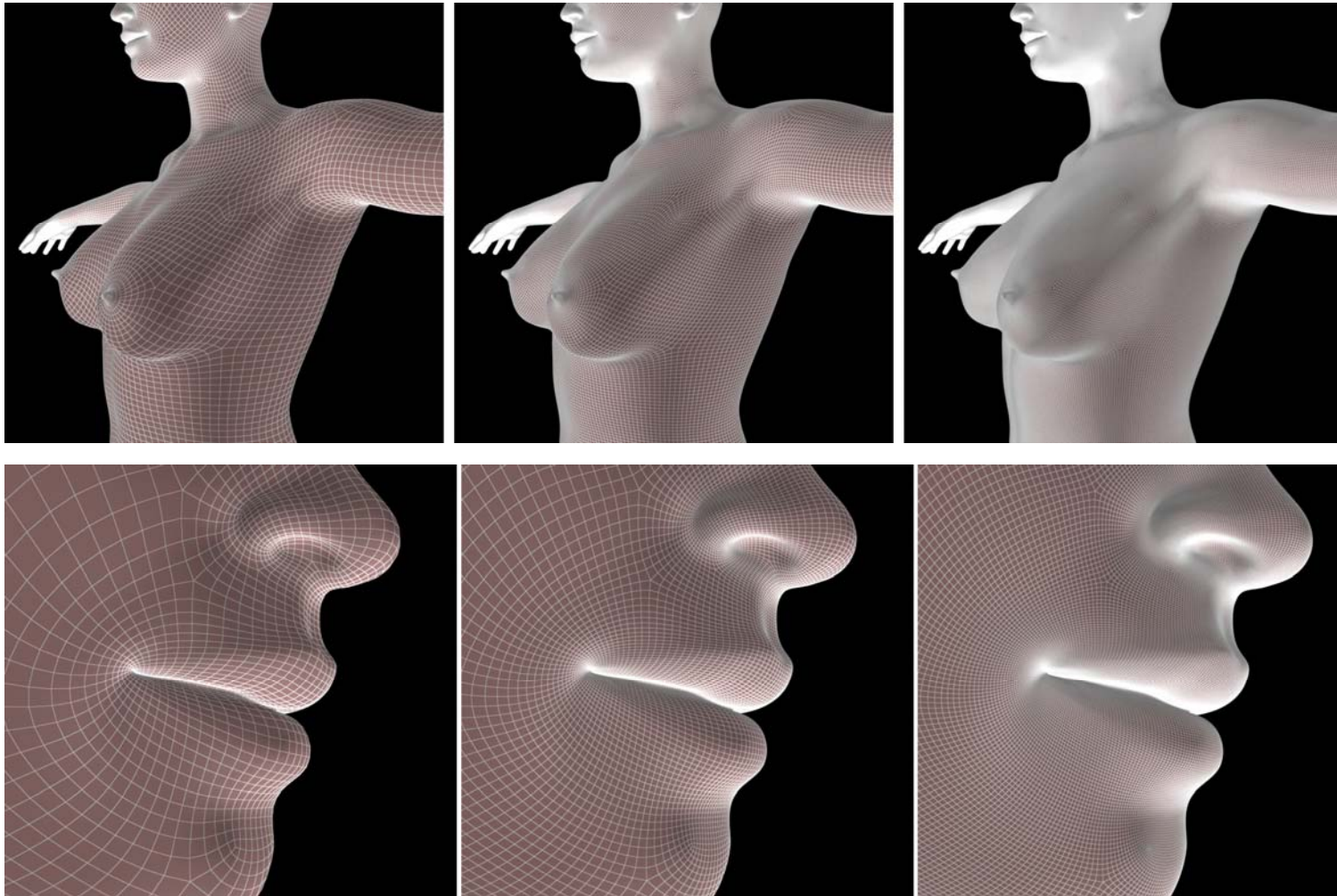
Model femení. Detall de l'esquelet. Vista de la malla i vista texturada



Model femení. Detall de l'esquelet, dels sistemes circulatori, respiratori i limfàtic. Vista de la malla i vista texturada.

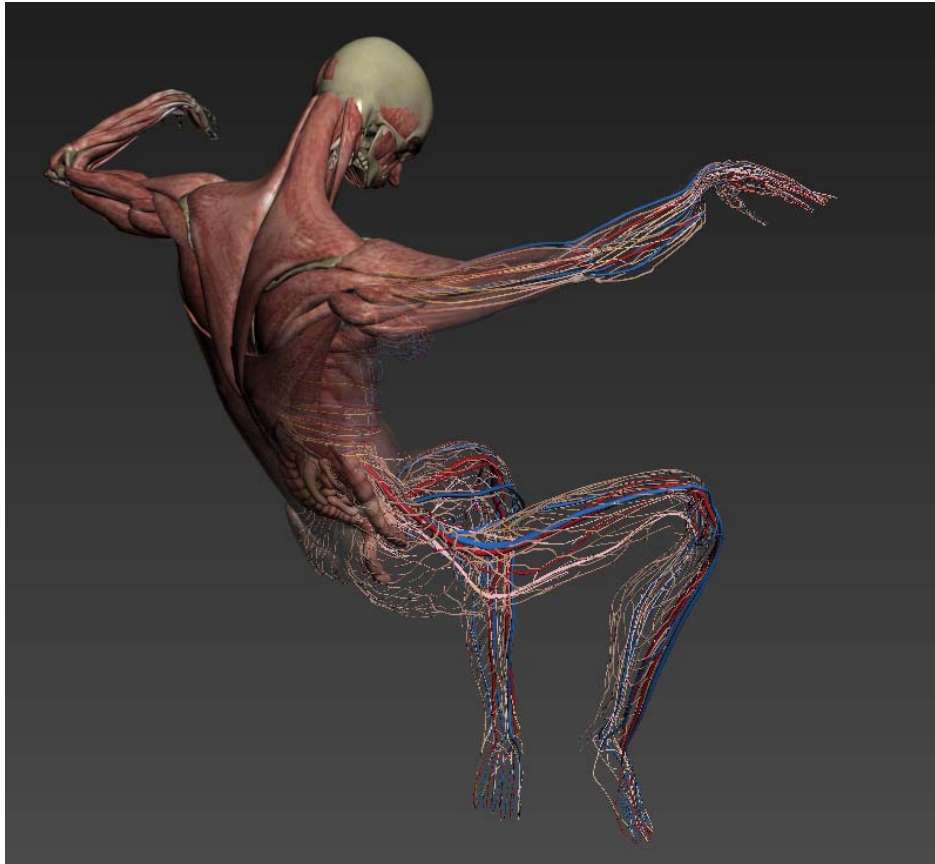


Model femení. Detall de la pell. Vista de la malla i vista texturada

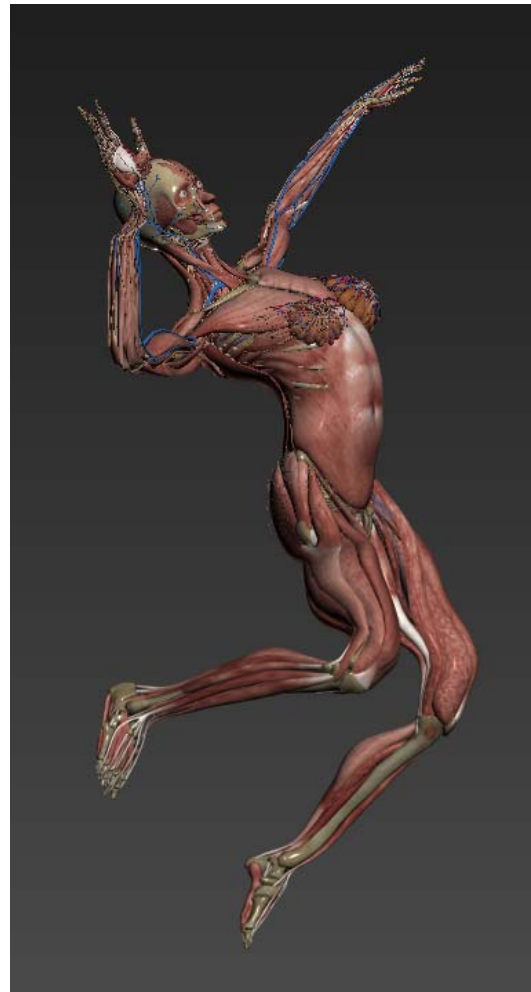


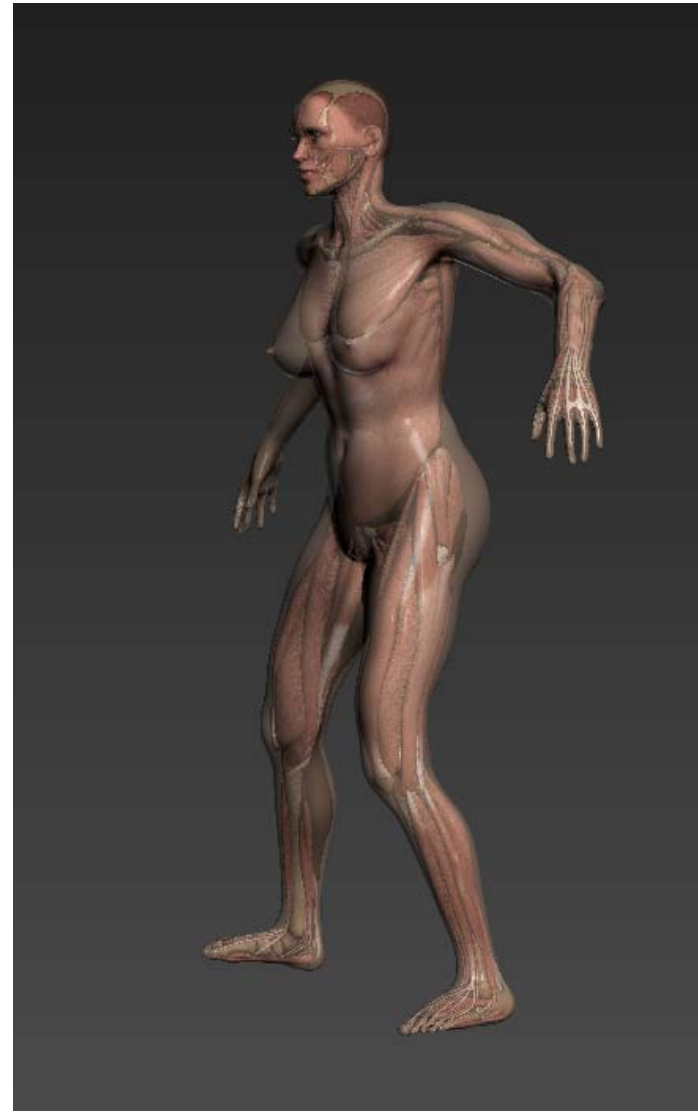
Model femení. Mostra de l'increment exponencial de la malla en funció de les iteracions de suavitzat. La imatge de l'esquerra mostra la malla original, la del centre té una iteració i la de la dreta dues iteracions. La diferència en nombre de polígons entre la primera i la darrera és de setze vegades ja que a cada iteració cada polígon es divideix en quatre. Aquest increment de polígons no es veu justificat per un increment proporcional en la suavització dels perfils.

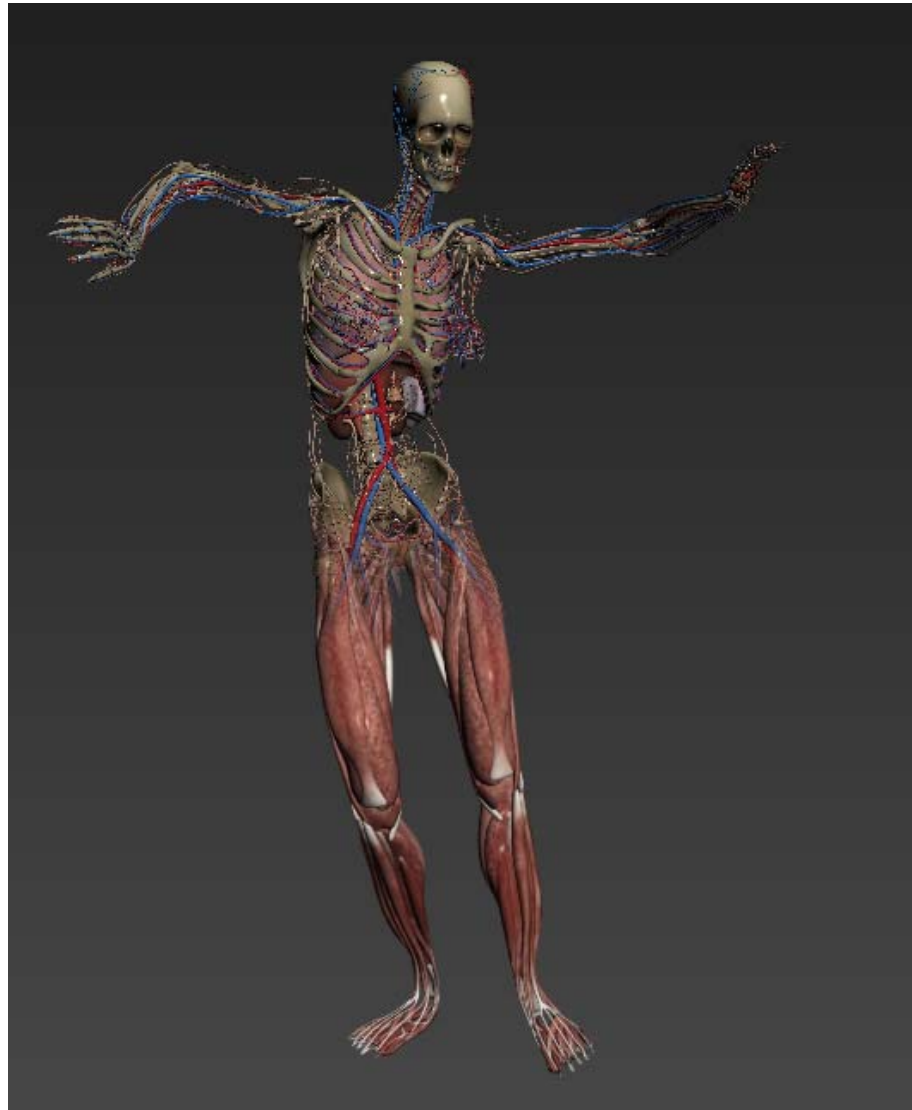
ANNEX 2: Models en moviment





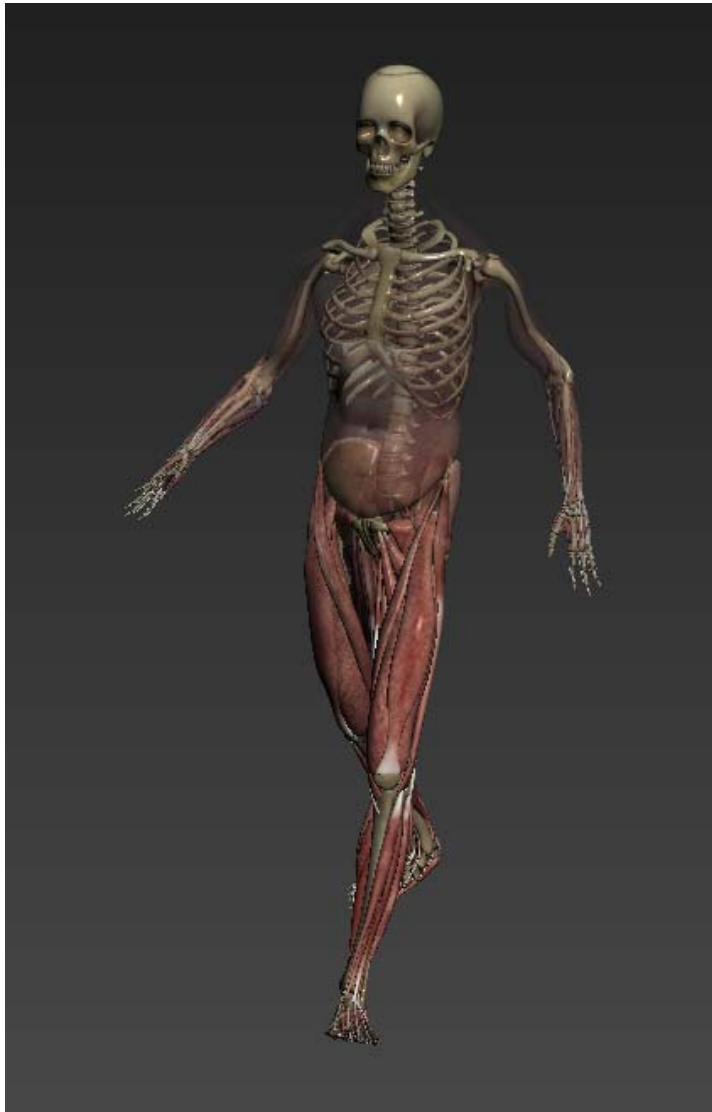


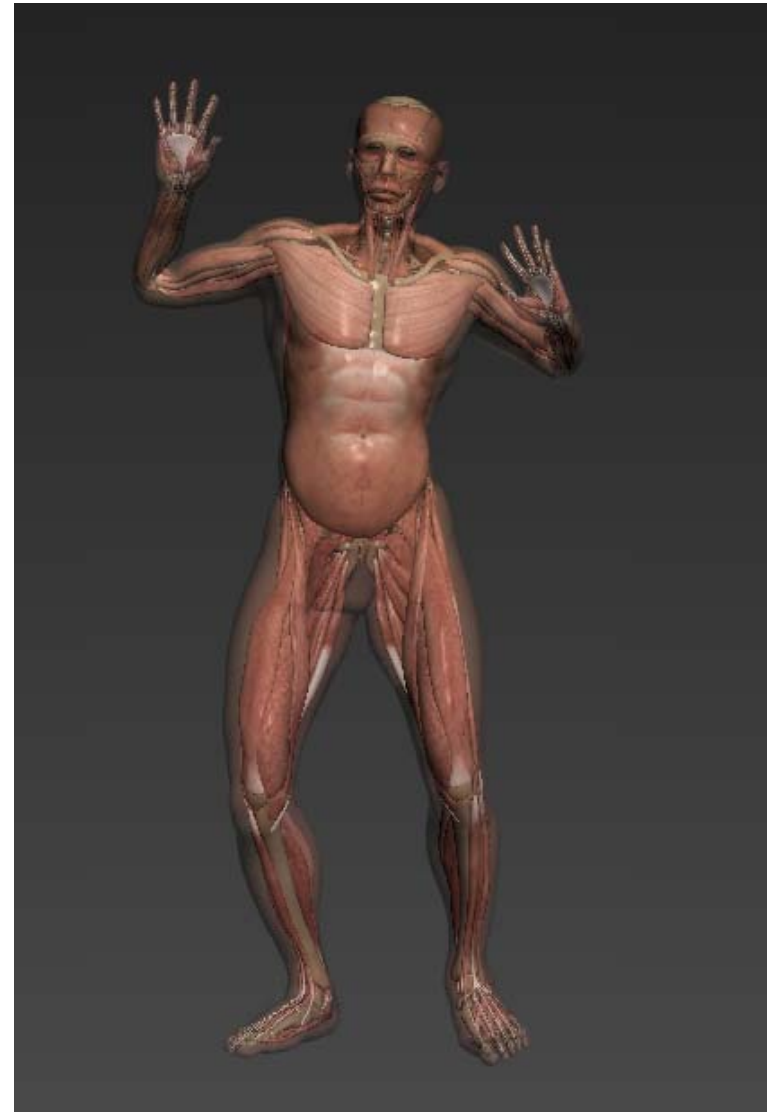
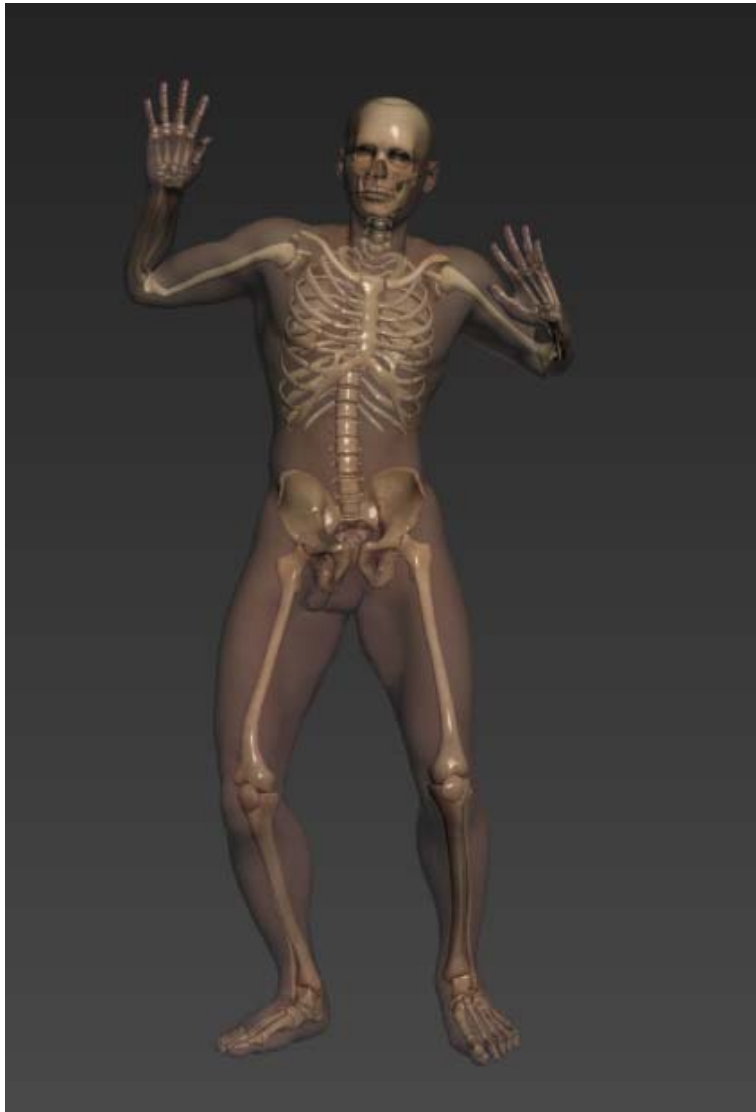






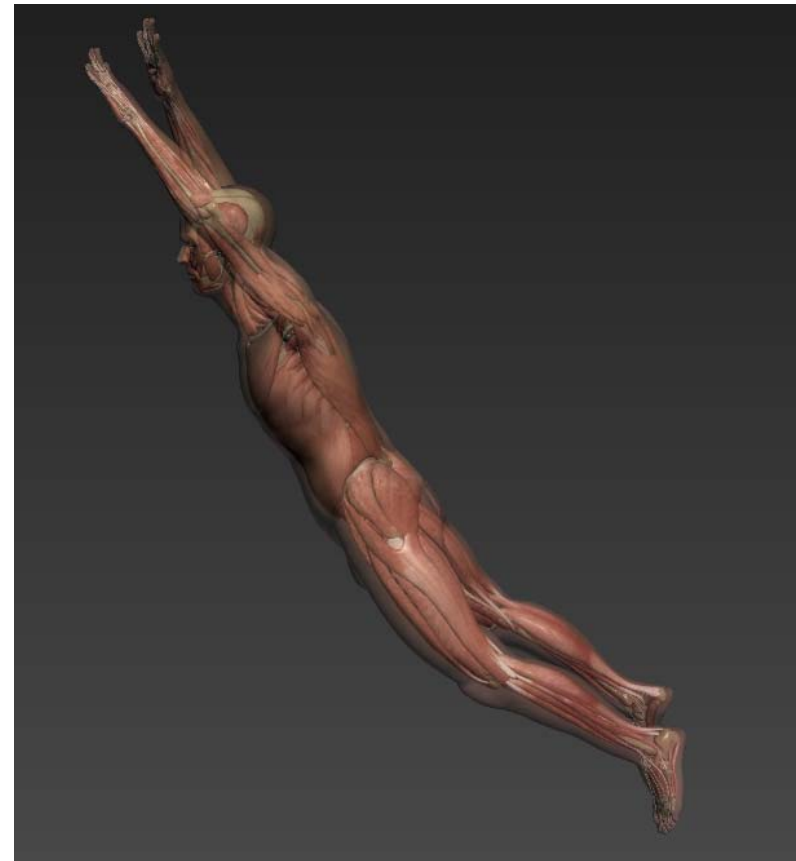














ANNEX 3: MoCap amb Kinect

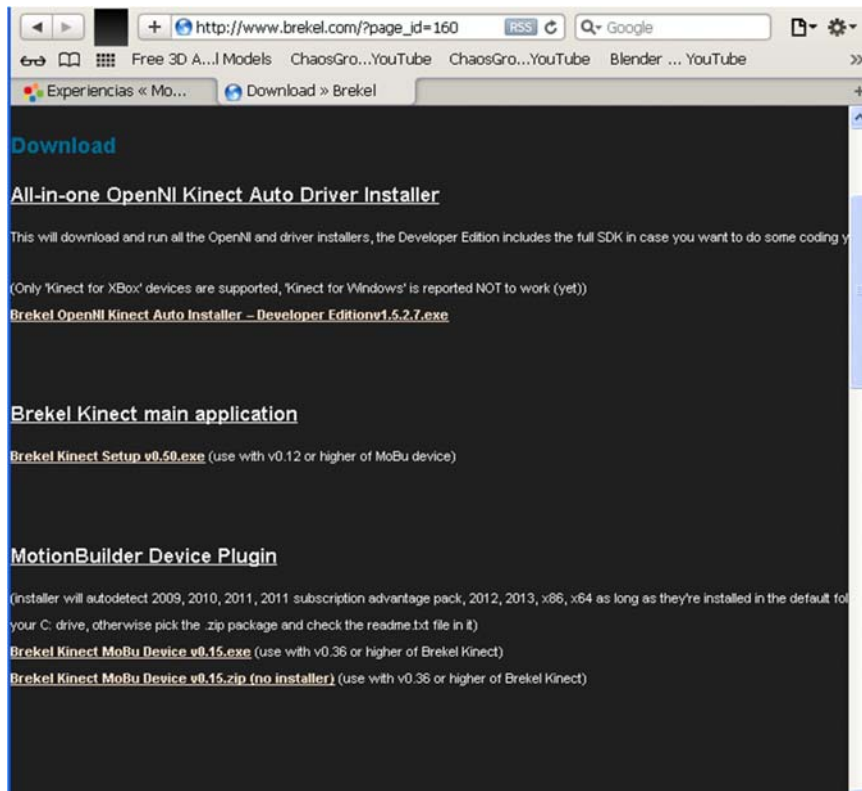
En la realització de captura de moviment d'aquest annex empraré la Kinect de la Xbox, la qual connectaré al PC després d'instal·lar les següents llibreries i frameworks:

1. OpenNI: Framework que controla el micròfon, càmera i que conté els drivers per al sensor de profunditat.
2. Nite: Extensió del OpenNI, que conté una llibreria per al reconeixement de moviment, a més de ser la part encarregada de generar el seguiment de l'esquelet.

Per realitzar la connexió necessitem que la nostra Kinect compti amb un cable d'alimentació i amb un connector USB.

Començarem el procés instal·lant OpenNI, Nite i els drivers de Kinect, això podem fer-ho descarregant-lo i instal·lant-lo des del repositori o des de la web de Brekel amb el pack All-in-one OpenNiKinect Auto Driver Installer. Hem de tenir en compte, a més, que aquest paquet conté l'API de OpenNI (Natural Interaction) per poder desenvolupar les nostres pròpies aplicacions.

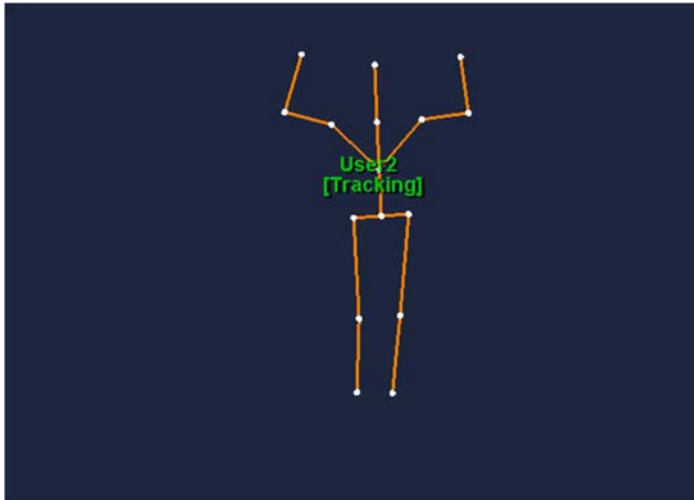
Un cop instal·lat l'All-in-one, descarregarem de la mateixa web el programari de la Brekel Kinect i un pluguin per MotionBuilder d'Autodesk (que és el programari que empremem per a la captura). No cal ni dir que també es podrien utilitzar altres programes com IPI Software o Blender.



Un cop instal·lat l'All-in-one haurem de connectar la Kinect al port USB perquè sigui reconeguda com a dispositiu PrimeSense.

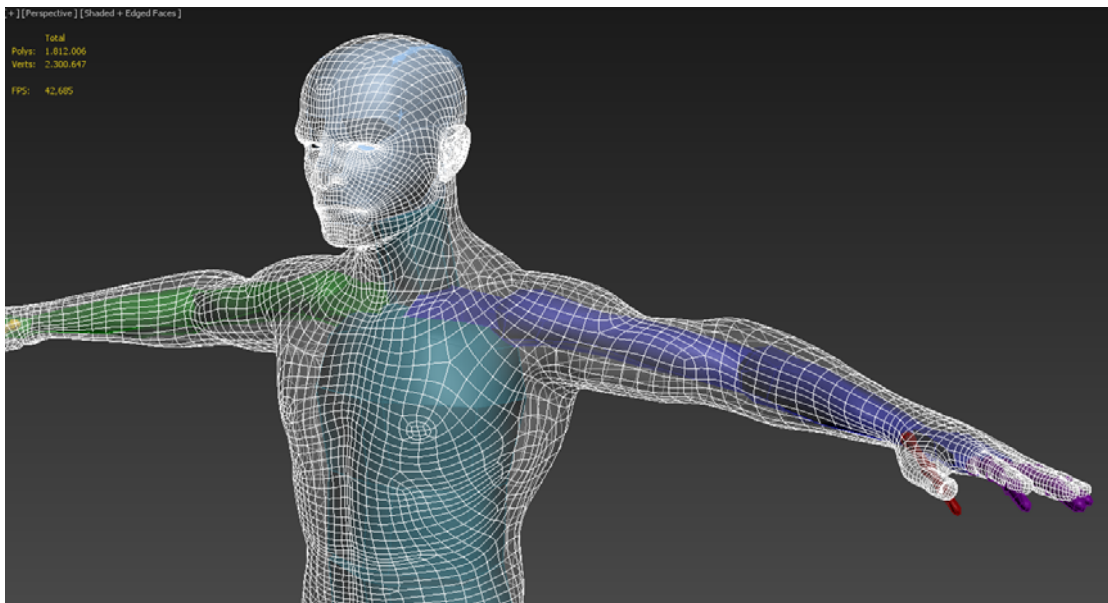


Si obrim el programari de Brekel Kinect, podrem comprovar el reconeixement col·locant-nos en el que s'anomena com a postura inicial neutral amb els braços amunt i les senses encreuar les cames tal i com pot veure's a la imatge següent.



Tot i que és possible realitzar la captura de moviment des de la mateixa Brekel realitzaré el procés d'exportació d'un dels models creats específicament per aquest treball el qual importaré a MotionBuilder per des d'aquest programari realitzar la captura a temps real.

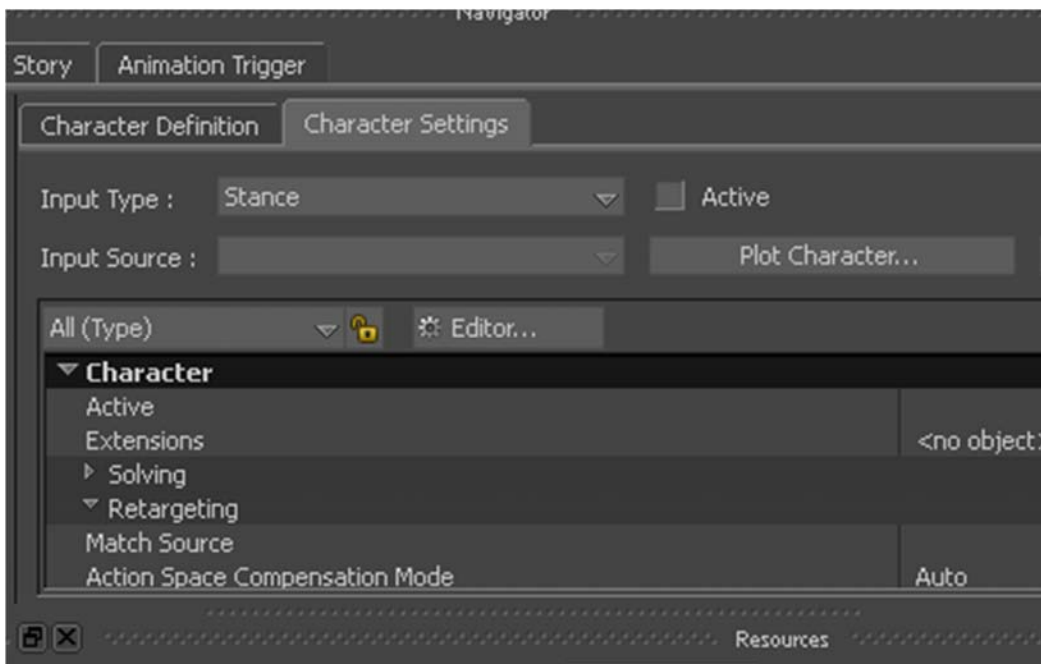
Per fer les captures de moviment s'ha fet servir la capa de la pell dels models generats per a aquest treball al qual hem adaptat un bípede i afegit el modificador Skin per tal de vincular la malla amb el bípede. Abans de realitzar l'exportació ens hem d'assegurar que el conjunt estigui centrat sobre l'objecte i que el dummy estigui alineat sobre l'eix Y.



Ho seleccionem tot i fem l'exportació al format FBX. En les opcions d'exportació, desmarquem Animation, ja que de moment encara no hem creat cap animació i si vulguessim incloure també la textura marcaríem Embed Media.

Fet això des de MotionBuilder importem l'arxiu i desmarquem *Take 001* ja que es tracta d'un model estàtic i no de cap seqüència.

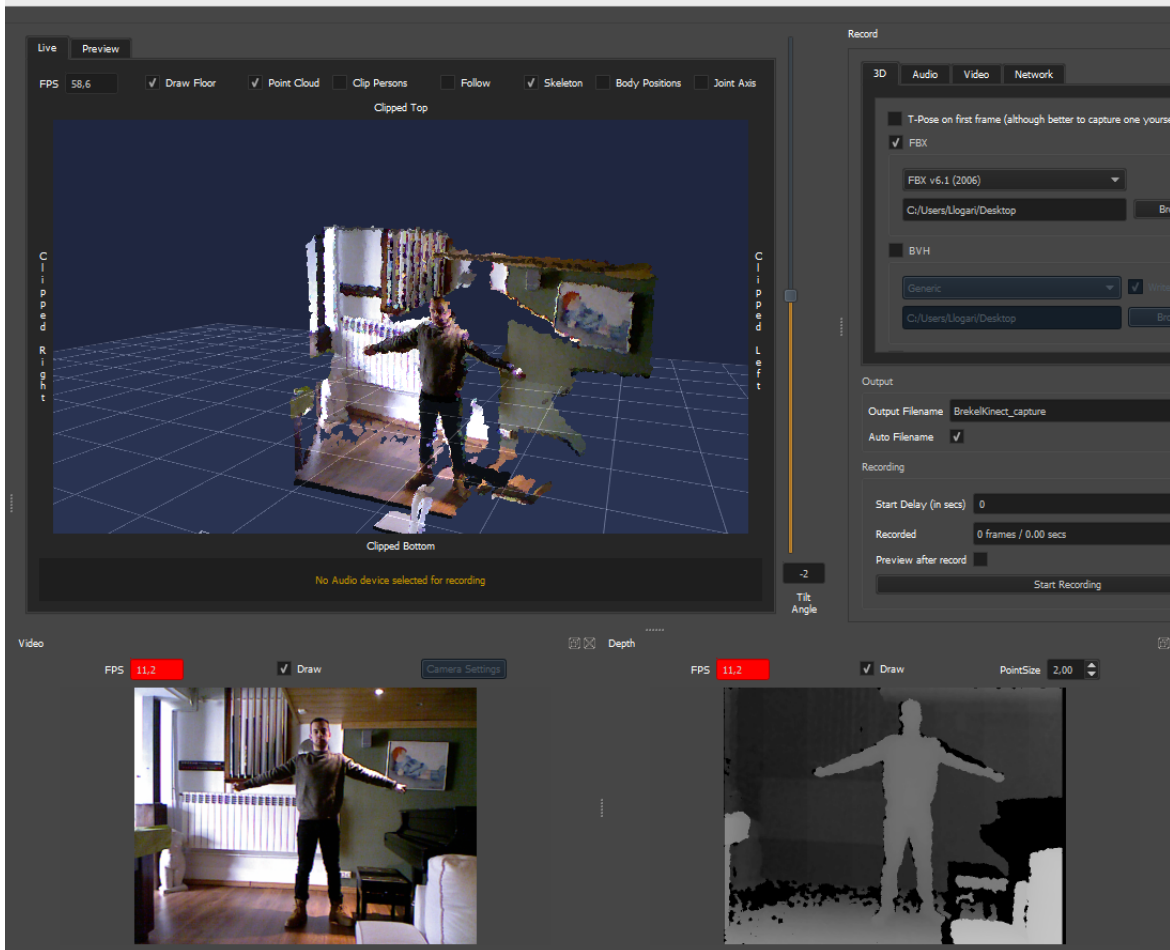
Un cop importat el model a escena, necessitem aplicar-li un esquelet funcional, en aquest cas serà un Bíped de 3Ds MAX el qual generarà un Character amb el mateix nom del bípede.



Tot seguit afegirem el dispositiu Kinect de Brekel que serà el personatge que mogui l'actor. Per fer això des del apartat dels Devices arrosseguem a escena el connector Brekel Kinect Device.

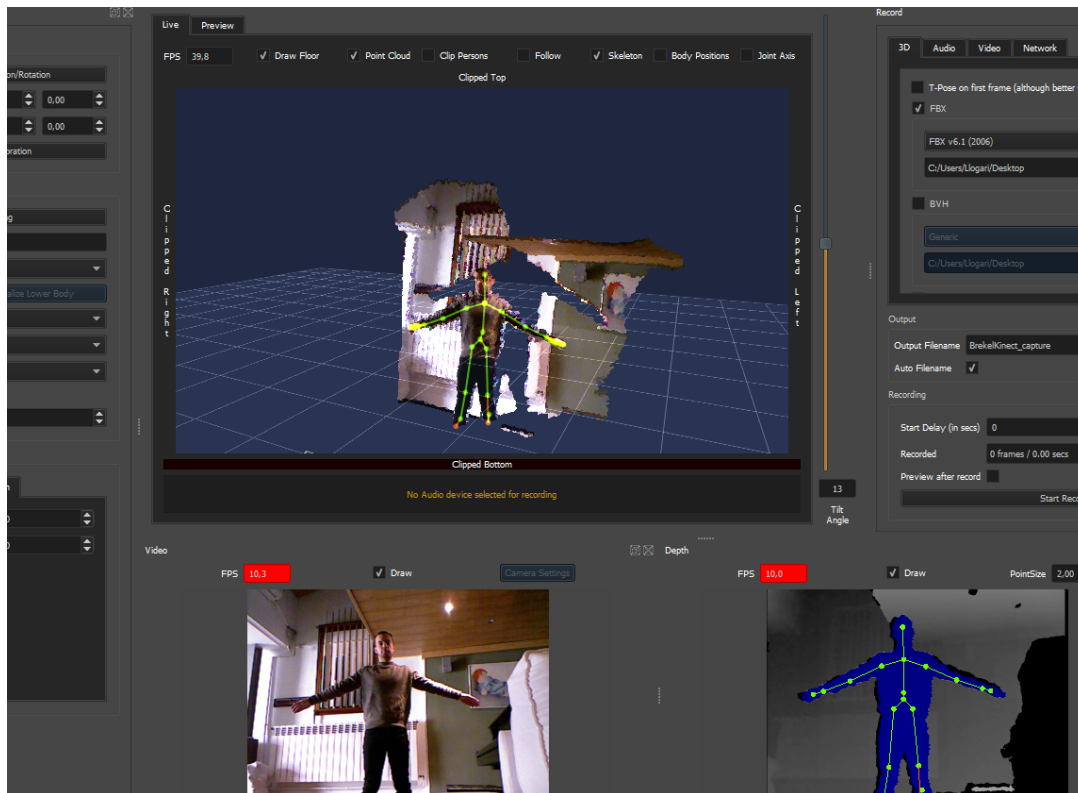
En el dispositiu de l'escena que s'acaba de generar en arrossegar el Brekel Kinect Device seleccionem la línia i en Model Binding seleccionem Kinect. Ens assurem que a més del MotionBuilder el programari de Brekel Kinect també estigui obert. Col·loquem la persona real que ens farà de model i de la qual capturarem l'animació, en la posició inicial neutra de reconeixement i després d'uns segons de calibratge aquesta apareixerà en escena com un esquelet de pal de color groc.

Ara haurem de crear un node des de Brekel Kinect Devices, per tal de vincular el personatge amb el bípede. Per a això l'actor ha de col·locar-se en la posició T i en la pestanya control de Devices farem clic a (Re)Create Character Nodes.



Això ens generarà un nou character amb el nom de Kinect el qual es situarà en la mateixa posició que el nostre dummy.

Per realitzar la vinculació marcarem en Character el nom del bípede i en la pestanya Character Settings seleccionem a Input Type: Character com a font des d'on obtindrem les dades, a Input Source triarem Kinect. Ja per finalitzar marcarem la pestanya Active.



Amb això el que hem aconseguit és que la font de moviment d'entrada sigui la Kinect de manera que ja tindrem vinculat nostre personatge amb l'actor real i podrem començar a enregistrar els moviments observant, a temps real, com respon el sistema en tot moment.

ANNEX 4: Programari emprat

Autodesk 3ds MAX. Versions 2012, 2013 i 2014

<http://www.autodesk.es/products>

Modelat, animació i renders.

Autodesk Maya. Versions 2012 i 2013

<http://www.autodesk.es/products>

Modelat

Photoshop CS6

<http://www.adobe.com/es/products/photoshop.html>

Edició de textures

Autodesk MotionBuilder. Versió 2013

<http://www.autodesk.es/products>

Animació, integració i captura de moviment.

Flash CS6

<http://www.adobe.com/es/products/flash.html>

Programació per a Flare3D i Alternativa3D

Flare3D i Alternativa 3D

<http://www.flare3d.com>

<http://old.alternativaplatform.com/en/download8>

Proves de visualització en local

Exportador Sketchfab per a 3Ds MAX

<https://sketchfab.com/models/popular>

Proves de visualització en línia

FBX Review

<http://www.autodesk.com/products/fbx/fbx-review>

Visor 3d en local i online multiplataforma

ANNEX 5: Vídeos dels models

El dia de la presentació està previst mostrar com a mínim un clip molt més complert on es puguin veure les diferents parts dels modelats fets per a aquest treball.

Fins la data de presentació poden veure's tres clips a Vimeo els quals estaran en vista privada. Per accedir a veure'ls cal posar la paraula de pas següent: **models2015**

<https://vimeo.com/115914496>

El vídeo mostra el turn around dels models en posició estàtica d'espera per rebre els bípedes amb les animacions.

<https://vimeo.com/115914497>

En aquest clip es poden veure els models creats mentre executen diferents moviments. Al final del clip s'ha incorporat també una vista dels models vestits i amb cabell per mostrar que fent només algunes petites modificacions a la malla és possible afegir-los-hi el cabell que es vulgui i vestir-los sense que cap de les dues coses signifiqui massa feina ni suposi cap problema.

<https://vimeo.com/115914495>

En aquest vídeo es mostra del funcionament del visualitzador FBX Review. Els models poden ser explorats per qualsevol usuari sense necessitat de disposar d'un programa específic 3D. Aquest visualitzador permet reproduir les animacions, anar endavant i endarrere, pausar les animacions i poder veure el model des de qualsevol punt de vista.