

# **SIMULACIÓN DE ACCIDENTES LABORALES MEDIANTE SÍNTESIS DE MOVIMIENTO CON HUMANOS VIRTUALES**

López, C.<sup>(P)</sup>; Marín, J.; Cebollada, F.; Huertas, J.

## **Abstract**

This paper presents the methodological process for a true work accident reconstruction and evaluation using a bundle of software tools. Some of these applications have been originally performed for computer games production and 3D movies animation. We have found this is an optimal solution for dangerous worker situations and motion analysis compared with the MOCAP systems or static monitored dummies. We have integrated all the results within traditional CAD based environments or, photogrammetry obtained sceneries and computer designed characters.

*Keywords: 3D characters, human motion synthesis, work accident*

## **Resumen**

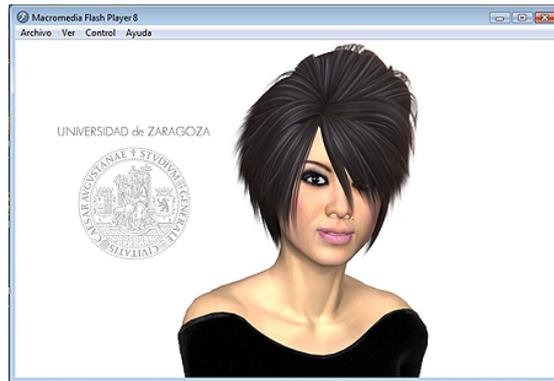
Se describe la metodología aplicada para la reconstrucción y el análisis de un accidente laboral real. En esta tarea de ingeniería inversa se han empleado novedosas herramientas de simulación gráfica 3D desarrolladas en sus principios para la industria del videojuego. Se trata de una alternativa técnicamente viable frente a la utilización de un sistema de captura del movimiento convencional o el empleo de "dummies" monitorizados. El trabajo describe el procedimiento empleado para la integración del entorno del accidente generado mediante CAD o fotogrametría y la reconstrucción del humano virtual objeto de la simulación.

*Palabras clave: Humanos virtuales, Síntesis de movimiento humano, Accidente laboral.*

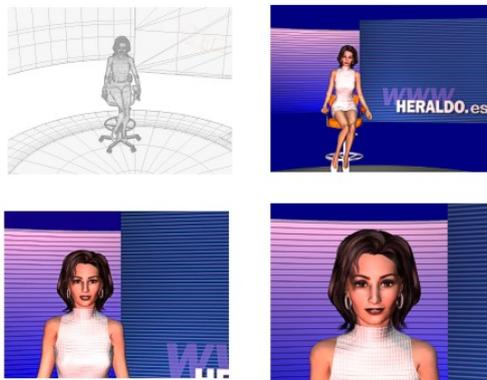
## **1. Introducción**

Durante la última década nuestro grupo ha estado desarrollando su labor de I+D+i dentro del ámbito de los personajes generados mediante ordenador, también conocidos como actores virtuales [01][02]. Nuestra actividad se ha focalizado en su aplicación para la simulación y evaluación de accidentes laborales [03] y, sobre todo, en la puesta en marcha de proyectos relacionados con la producción de interfaces humanos o presentadores virtuales para medios de comunicación en Internet [04], o televisión [05]. También hemos realizado diversas iniciativas para difundir y formar a profesionales y universitarios en esta tecnología emergente [06]. (Ver figura 01).

Este trabajo presenta un proyecto de ingeniería inversa sobre la reconstrucción mediante técnicas asistidas por computador de un accidente laboral del sector de la construcción. Se ha pretendido alcanzar varios objetivos: Comprender las circunstancias que podrían haber originado el accidente, analizar en un contexto simulado los hechos declarados por las partes afectadas en un proceso judicial en curso y experimentar sobre un caso práctico con diversas herramientas de animación 3D y realidad virtual.



(a)



(b)

Figura 01. (a):Ejemplo de personaje 3D empleado para presentaciones electrónicas [05]. Su voz está sintetizada mediante tecnología *TextToSpeech*, TTS. (b):Diversos planos de Pilar, ciberpresentadora realizada en 2000 para la Web de Heraldo de Aragón [04].

## 2. Contexto técnico

La utilización de agentes pasivos para simulación y evaluación de accidentes con daños personales es una tecnología comúnmente asociada al diseño y homologación de vehículos de transporte [07]. Esos agentes reciben el nombre de "dummies". Existe una marcada tendencia en sustituir esos costosos muñecos articulados y monitorizados por sensores, con caracteres generados por computador en un contexto virtual de evaluación. De esa forma se puede integrar el ensayo con la información de los diseños CAD del habitáculo o del vehículo y, con los sistemas de análisis por elementos finitos, CAE/FEA, que pueden extrapolarse a modelos simplificados de la anatomía humana [08][09].

Debemos remarcar que esas técnicas permiten la simulación de contingencias en las que el "*actor virtual*" permanece pasivo y se limita a absorber el impacto de la sollicitación estudiada en cada tipo de ensayo [10]. El movimiento se genera mediante diversos algoritmos de cinemática de esqueletos articulados [11] combinados con la evaluación de las colisiones dentro del entorno del ensayo del vehículo [12].



Figura 02. El ABAQUS BioRID II es un "dummy" empleado para evaluar el peligro de lesiones en las cervicales durante una colisión en la zona trasera del vehículo. Aquí se simula un lapso de tiempo de 250 milisegundos. Cortesía de SIMULIA Dassault Systèmes

La animación realista de personajes compuestos por mallas tridimensionales no rígidas mediante esqueletos articulados con detección de colisiones [13] y que se adapten a variables físicas, como las solicitaciones del experimento, la fuerza de la gravedad o el rozamiento, es un problema de cálculo complejo. La simplificación más habitual pasa por limitar los movimientos del "dummy" virtual haciendo que se comporte como un elemento inanimado y relativamente maleable. El uso de esa tecnología quedaba descartado en nuestro trabajo puesto que en la mayoría de los accidentes laborales el actor no permanece estático, por el contrario, ejecuta acciones o movimientos durante el desenlace que deben ser interpretados y evaluados.

La industria del videojuego ha desarrollado interesantes herramientas de hardware/software para el estudio del movimiento y la animación de actores virtuales con estructura tipo esqueleto. El sistema más empleado es la captura de movimiento, MOCAP, mediante hardware óptico con marcadores pasivos [14] o con sensores de desplazamiento y orientación sobre arneses. Para reproducir el movimiento en el ordenador, se requiere en cualquier caso la intervención de un actor real. Aunque es un método preciso [15] es obviamente inviable en la reconstrucción de situaciones peligrosas como los accidentes laborales.

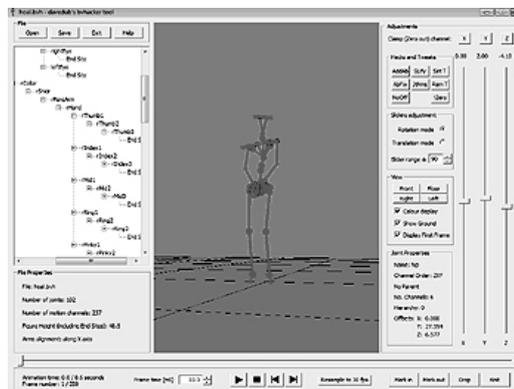


Figura 03. Esqueleto del dummy

La síntesis de movimiento mediante algoritmos o procedimientos de cálculo es la alternativa más viable en situaciones de peligro. Uno de los ejemplos más comunes de esta técnica es la animación mediante cinemática inversa interpolada [16]. Con este sistema se pueden definir ciclos de andadura naturales, muy útiles para simular el movimiento de peatones [17], saltos o caídas simples. Otra variante de síntesis del movimiento más evolucionada y en fase de experimentación es la animación mediante "conductas procedurales"[18]. Con ellas se puede simular el comportamiento de un actor virtual en un escenario complejo de forma dinámica y partiendo de unas premisas más generales que lo hacen interactuar dentro de él o con otros actores. Resulta idóneo para la reconstrucción de accidentes, escenas complejas o en la recreación de muchedumbres.

### 3. Desarrollo.

Se cubrieron las siguientes etapas:

#### 3.1. Reconstrucción del escenario del accidente.

Al disponer de un conjunto de planos del inmueble suministrados por el equipo de peritación, se decidió reconstruir la zona de la edificación afectada, mediante un programa de CAD arquitectónico 3D convencional [19]. Antes, se había descartado la fotogrametría. Ese método de definición geométrica es más conveniente en situaciones en las que se carece de una documentación detallada o cuando se desea incrementar el fotorrealismo del escenario 3D [20]. Por otro lado no se requería "texturizar" la zona del accidente entendiendo que ni la iluminación, ni el nivel de detalle con que se representarían los materiales, eran relevantes para la prueba.

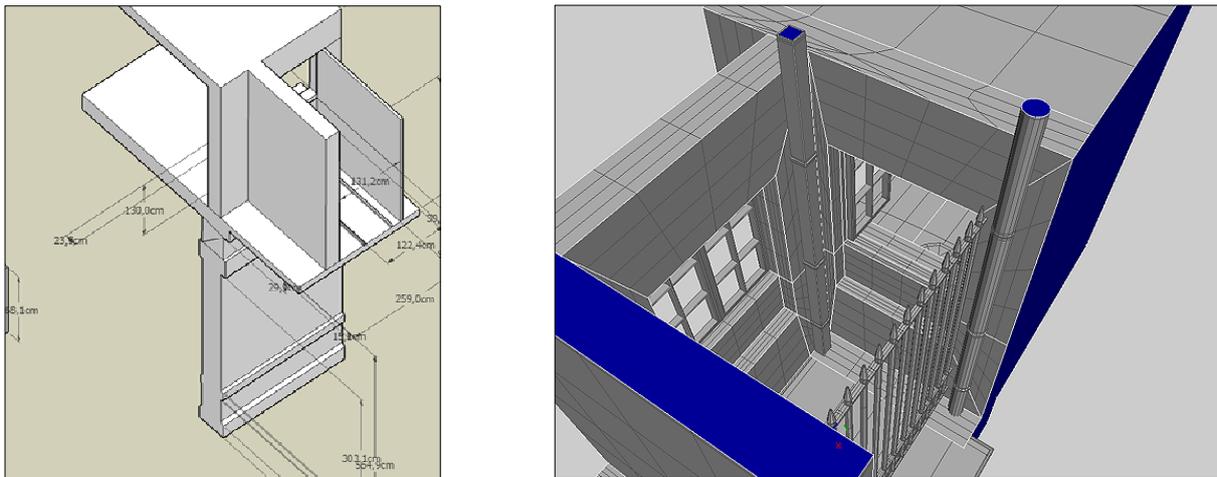


Figura 04. Vistas parciales del diseño CAD 3D del inmueble. Se modeló la parte de la estructura implicada en el accidente. Se incorporaron detalles adicionales como canalones, marcos de ventanas y algunos elementos del mobiliario que intervenían de forma indirecta en el accidente.

#### 3.2. Dimensionado del dummy 3D.

El equipo de peritación nos proporcionó una serie de datos generales sobre la persona siniestrada: Género, complejión, talla, edad y peso. Para que el experimento se ajustara al máximo a la realidad se pretendía elaborar un modelo anatómico 3D fidedigno. Se evaluaron diversas alternativas para el diseño del actor virtual: CAD, digitalización directa del afectado mediante escáner, escultura digital 3D o, finalmente, manipulación de modelos estándar con un bajo-medio número de facetas [21]. Las herramientas de generación de superficies de un CAD mecánico son toscas e inadecuadas para representar formas orgánicas. Las otras técnicas citadas permiten la "clonación" digital de personas reales con excelentes resultados visuales pero ralentizan el proceso de cálculo debido a que la complejidad del modelo resultante puede superar el millón de facetas. Se optó por la última alternativa, es decir, reconstruir un patrón 3D mediante software específico de modelado de humanos que combina parámetros dimensionales con herramientas de "morphing" sobre mallas de polígonos [22]. Es una tecnología de representación que se utiliza actualmente para la configuración de maniqués 3D y gestión de las tallas en diseño de moda asistido por computador [23].

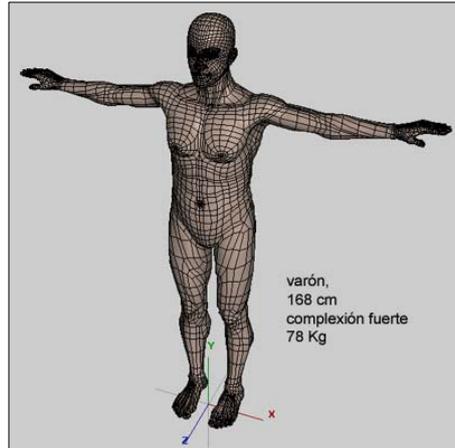


Figura 05. dummy 3D de referencia

### 3.3. Definición de condiciones contorno.1

Finalizada la etapa de modelado 3D se pasó a detallar en el nuevo contexto virtual las consideraciones básicas para la reconstrucción del accidente, acordes a la declaración del accidentado. Las circunstancias evaluadas fueron:

- Ubicación inicial del personaje en la escena.
- Postura o pose de partida, atendiendo a la actividad que estaba realizando inmediatamente antes del accidente.
- La postura final y ubicación aproximada en la escena. Era realmente la circunstancia más crítica de la declaración y por tanto, el objetivo esencial del análisis del accidente. Se pretendía confirmar o desestimar el dato.
- Localización y alcance de las lesiones.
- La persona permaneció consciente durante el accidente intentando proteger su integridad.

Tras la revisión del modelo y de la información anterior se debía evaluar:

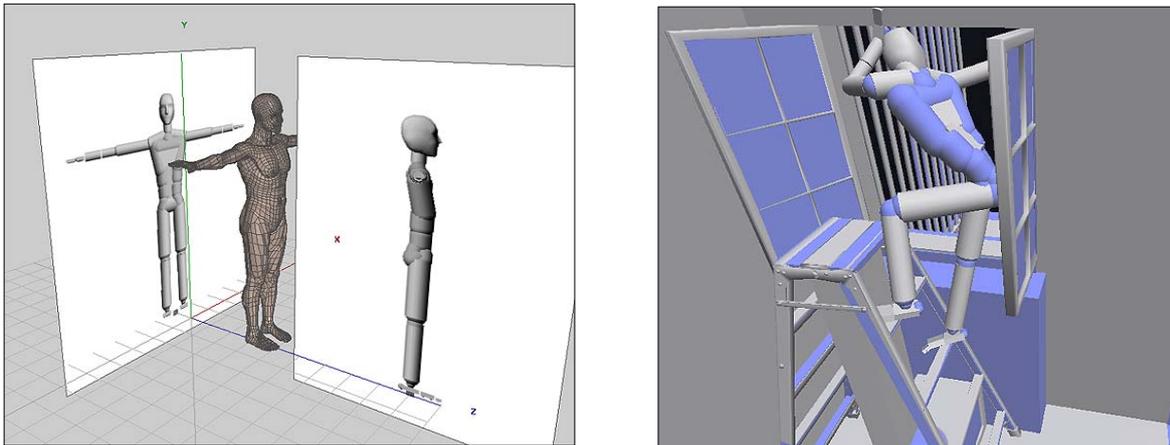
- El efecto físico desencadenante de la caída: Pérdida de la estabilidad durante el trabajo sobre la escalera en proximidad a la ventana.
- Posibles trayectorias durante la caída.
- Zonas de colisión escenario-personaje.
- Comportamiento de los elementos dinámicos, con masa, que intervenían en el experimento. Además de la escalera de mano referida al comienzo del accidente existía una claraboya de cristal que era traspasada durante la caída y que podía afectar seriamente al ensayo.
- Viabilidad de una caída de pie con rotura en uno de los miembros inferiores.

### 3.4. Simulación y evaluación.

Para la reconstrucción del accidente se ensambló el escenario en el software ENDORPHIN 2.7.1 [24]. Es un programa de animación de caracteres basado en la síntesis de movimiento por conductas procedurales desarrollado por *Natural Motion Inc.* para la industria del videojuego y de los efectos especiales cinematográficos. El experimento se descompuso en tres etapas:

- Inicio de la caída hasta la salida por la ventana.
- Desde la ventana hasta el impacto con la claraboya de cristal.
- De la claraboya hasta el suelo o final de trayecto. Intentando caer de pie.

El software de animación utiliza un patrón anatómico simplificado que hubo que adaptar a las dimensiones de nuestro dummy 3D base que a su vez tenía las medidas de la persona real. Uno de los factores a tener en cuenta es que la persona permanecía consciente y activa durante toda la secuencia. La simulación se generó utilizando una serie de pistas o "tracks" de conductas temporales que se activaban o detenían conforme avanzaba la animación. Durante el ensayo se utilizaron diferentes conductas procedurales: Movimientos de brazos instintivos para mantener el equilibrio, intentos por asirse a elementos de escena, acciones de protección de la cabeza, etc. Cada conducta podía modificarse con diversos parámetros numéricos, simulando movimientos más exagerados o aumentando la rigidez de las articulaciones para obtener posturas más definidas. El sistema compatibilizaba en todas las situaciones el movimiento del personaje con un motor de análisis de variables físicas que permitía controlar el rozamiento cuando se producían colisiones, o la elasticidad de cada superficie frente al impacto.



*Figura 06. Izquierda: Fase de ajuste de escala entre el dummy 3D de referencia con las dimensiones del trabajador (centro) y, la versión simplificada. Derecha: dummy simplificado en la postura inicial del accidente.*

La claraboya se simplificó como un conjunto de paneles biapoyados sobre los tirantes anclados a la pared y que estaban perfectamente dimensionados en las especificaciones que nos remitieron.

Se elaboraron diversas alternativas para cada una de las tres fases que se resumen en las figuras adjuntas. Los resultados se presentaron en un video interactivo que describía las hipótesis de evaluación en diferentes escenas.

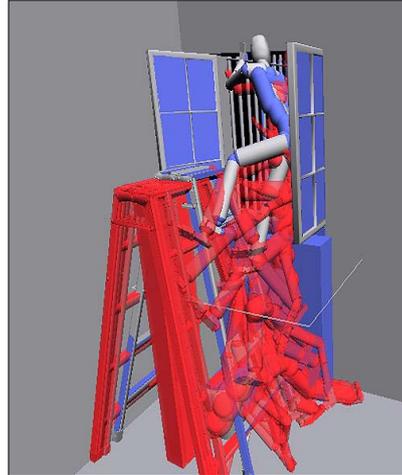
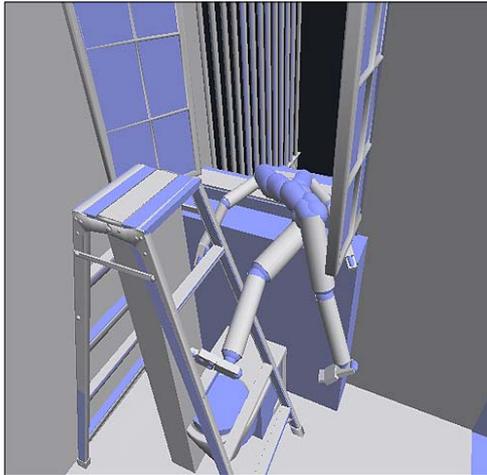


Figura 07. Fotogramas de la fase 1, pérdida del equilibrio. En la mayor parte de las simulaciones no se traspasaba la ventana.

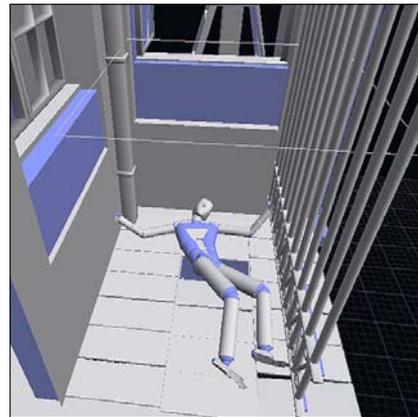
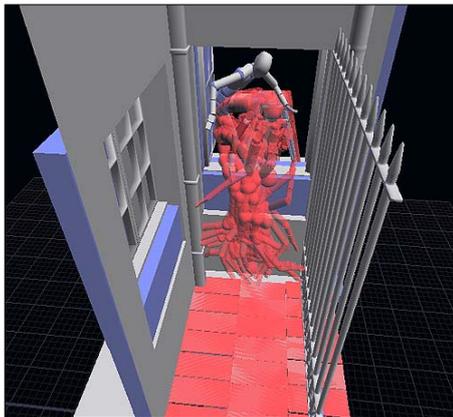


Figura 08. Fotogramas de la fase 2, caída sobre la claraboya. Se detectaban lesiones graves

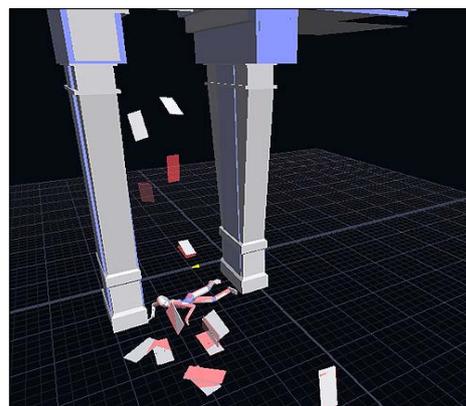
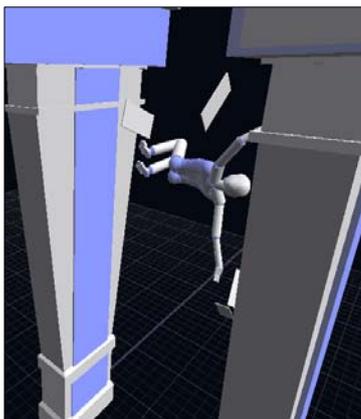


Figura 09. Fotogramas de la fase 3, caída hacia el suelo. Era muy improbable una caída de pie. No se consiguió simular este evento.

#### 4. Resultados y conclusiones

Realizadas una batería de seis simulaciones por cada fase, se pudo comprobar que las declaraciones realizadas por la persona accidentada eran considerablemente improbables. En general había notoria dificultad de obtener el resultado deseado o declarado en varias fases del proceso del accidente. Por citar un detalle, era complicado reconstruir la caída desde la posición inicial. Si se producía la salida a través de la ventana, era con los pies por detrás del centro de gravedad del cuerpo lo que desembocaba en un fuerte impacto en la zona de la cabeza y columna vertebral sobre el dintel en que se apoyaba la claraboya.

Al margen del resultado pericial derivado del trabajo, existen una serie de conclusiones de tipo técnico que queremos resaltar:

- La solución expuesta integra de forma satisfactoria varias tecnologías que se habían desarrollado para sectores industriales notoriamente dispares: Animación de videojuegos, arquitectura e industria textil. Ello ha permitido innovar en un sector necesitado de nuevos recursos y herramientas para mejorar la seguridad laboral.
- Hemos creado nuevas metodologías de análisis que reducen costes y posibilitan el ensayo en casos complejos de simulación de accidentes.
- Se ha desarrollado una línea de investigación en Ingeniería Inversa que puede expansionarse y mejorarse con las diferentes alternativas que hoy existen entre las tecnologías de la realidad virtual.

#### Referencias.

[01]: López, C.; Royo, E.; De Francisco, J.C.; *"Elaboración de personajes 3D para su difusión en Internet"* XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander (España).2002. Incluido en los Anales de Ingeniería Gráfica del 2002.

[02]: López C.; Valero, C.; *"Desarrollo sostenible de personajes sintéticos 3D"*. XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valladolid (España).2000.

[03]: Cebollada,F.; López, C. ;García, C.: *"Simulación Dinámica 3D de Riesgos Laborales para análisis de accidentes de Trabajo"*, XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Barcelona (España).Junio 2006

[04]: López, C.; De Francisco, J.C.; Royo. E.; *"Desarrollo de un Presentador Sintético para WWW"* XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz (España).2001.

[05]: López, C.; Hernández de Tierra, A.; Cebollada, F.; Yoldi, V.; *"Aprovechamiento de los actores virtuales 3D en la difusión de noticias dinámicas"* XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Barcelona (España).2006.

[06]: López, C.; Royo, E.; Oliveros, M.J.; Yoldi, V.: *"Experiencias en la formación Universitaria sobre las tecnologías y aplicaciones del actor virtual"*. XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Zaragoza (España).Junio 2004.

[07]:[www.crash-network.com](http://www.crash-network.com)

[08]:[www.dynamore.de](http://www.dynamore.de)

[09]: Verhoeve, R.; Kant, R.; Margerie, L.: *"Advances in Numerical Modelling of. Crash Dummies"*, ESV Conference 2001, Paper Number 152. Amsterdam, (Holanda) 2001

- [10] Kirkpatrick, S.; Holmes, B.; Hollowell, W.; Gabler, H.; Trella, T.: "*Finite Element Modeling of the Side Impact Dummy (SID)*" Human Surrogates: Design, Development and Side Impact Protection, SAE SP-945, Paper No. 930104 (1993)
- [11]: Murray C.; Merrick, D.; Takatsuka M.: "*Graph Interaction through Force-Based Skeletal Animation*", Proc. Australasian Symp. on Information Visualisation (InVis.au 2004), CRPIT 35:81-90, 2004.
- [12]: Redon, S.; Lin, M.; Manocha, D.; Kim, Y.: "*Fast Continuous Collision Detection for Articulated Models*" Journal of Computing and Information Science Engineering, 5(2), 2005
- [13]: Baraff, D.: "*Fast contact force computation for nonpenetrating rigid bodies*". Proceedings of SIGGRAPH '94 (Orlando, Florida, July 24–29, 1994), ACM Press, A. Glassner, Ed., Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, 23–34. ISBN 0-89791-667-0.
- [14]: Kirk James A.G.; O'Brien F.; Forsyth, D.A.: "*Skeletal Parameter estimation from Optical Motion Capture data*" From the proceedings of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2005
- [15]: Gleicher, M.; Ferrier N.: "*Evaluating Video-Based Motion Capture*" Proceedings of Computer Animation 06/19/2002 - 06/21/2002, Geneva, Switzerland.
- [16]: Wiley, D.J.; Hahn, J.K.: "*Interpolation synthesis of articulated figure motion*". Computer Graphics and Applications, IEEE Volume 17, Issue 6, Nov/Dec 1997 Page(s):39 - 45
- [17]: Untaroiu, C.; Shin, J.; Ivarsson, J.; Crandall, J.; Takahashi, Y.; Akiyama, A.; Kikuchi, Y.: "*Pedestrian Kinematics investigation with finite element dummy models based on Anthropometry Scaling Method*". Publicado por: National Highway Traffic Safety Administration, 2007. Paper Number 07-0328
- [18]: Thalmann, T.; Monzani, J.S.: "*Behavioural Animation of Virtual Humans: What Kind of Laws and Rules*". Proceedings of Computer Animation 06/19/2002 - 06/21/2002 Geneva, Switzerland ISBN: 0-7695-1594-0
- [19]: [www.google.com/sketchup/products/gsup.html](http://www.google.com/sketchup/products/gsup.html)
- [20]: Koutsoudis, A.; Arnaoutoglou, F.; Pavlidis, G.; Tsioukas, V.; Chamzas, C.: "*Process evaluation of 3D reconstruction methodologies targeted to WEB based virtual reality*". XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece, 2007
- [21]: López, C.; Huertas, J.L.; Royo, E.; Yoldi, V.: "*Desarrollo de clones digitales mediante caracteres 3D con densidad media de polígonos*". Ponencia aceptada para su presentación oral en el XX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Valencia (España). 2008
- [22]: [www.dedalo-3d.com](http://www.dedalo-3d.com)
- [23]: Volz, A.; Blum, R.; Häberling, S.; Khakzar, K.: "*Automatic, Body Measurements Based Generation of Individual Avatars Using Highly Adjustable Linear Transformation*". Human Computer Interaction International 2007 Pekín, China (Proceedings Volume 12, LNCS\_4561, ISBN: 978-3-540-73318-8
- [24]: [www.naturalmotion.com/endorphin.htm](http://www.naturalmotion.com/endorphin.htm)

## **Agradecimientos.**

El equipo de investigación quiere manifestar su agradecimiento a Pedro Manuel Aguado Benedí, Director de Universa de la Universidad de Zaragoza por su apoyo y asesoría durante la ejecución de este Proyecto.

**Correspondencia** (Para más información contacte con)

Carmelo López Gómez  
Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. UNIVERSIDAD de  
ZARAGOZA  
C.P.S. Edificio Torres Quevedo.  
C/ María Luna 3, 50018 Zaragoza (España).  
Phone: +34 976 76 18 93  
Fax: + 34 976 76 19 09  
E-mail: [melopez@unizar.es](mailto:melopez@unizar.es)