

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación

Vicente Torres¹✉¹Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

✉ vicentz@gmail.com

Resumen

Se estudió un video público de una precipitación accidental ocurrida desde una altura de 3m. Mediante análisis de video, se obtuvieron las dimensiones de la persona, el alcance al nivel del piso y la rapidez mínima de lanzamiento (1.35 ± 0.14 m/s). Estos datos fueron los parámetros de entrada para construir una simulación virtual tridimensional. Por medio de un análisis retroproyectivo e iterativo, se estableció la postura del personaje virtual antes de iniciar la caída para que el programa calculará su posición y postura final. Se presenta a detalle la mejor reconstrucción que se aproxima a la escena fijada en video. El resultado de la simulación es robusto a cambios en definiciones específicas de entrada, como la elevación de uno de los brazos (en un intervalo de 30°); pero es inestable a pequeñas variaciones en otros parámetros, como la velocidad de lanzamiento (en una diferencia de 0.3 m/s). Las comparaciones entre las características (cuantitativas y cuantitativas) de la postura final simulada y en el video, permiten afirmar que el resultado de la reconstrucción es: aceptable. Este estudio comparativo ayuda a orientar reconstrucciones virtuales de hechos mecánicos y establecer una cota preliminar a su exactitud: en la velocidad final de 75.2%.

Palabras clave: reconstrucción de hechos mecánicos, biomecánica, video análisis.

Abstract

A public video of accidental precipitation that occurred from a height of 3 m was studied. Via video analysis, the dimensions of the person, the reach at ground level, and the minimum launch speed (1.35 ± 0.14 m/s) were obtained. These data were input parameters to build a three-dimensional virtual simulation. Through a retro-projective and iterative analysis, the virtual character's posture was established before starting the fall so that the program will calculate its position and final posture. The best reconstruction that approximates the scene fixed on video is presented in detail. The simulated result is robust to changes in specific input definitions, such as the elevation of one of the arms (in an interval of 30°); but it is unstable to slight variations in other parameters, such as the launch speed (in a difference of 0.3 m/s). Comparisons of characteristics (quantitative and quantitative) of the simulated final posture and in the video allow us to affirm that the result of the reconstruction is acceptable. This comparative study helps guide virtual reconstructions of mechanical events and establish a preliminary accuracy level: at the final speed of 75.2%.

Keywords: reconstruction of mechanical events, biomechanics, video analysis.

Datos del artículo:

Cita: Torres V. 2022. Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1) 23-37 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez

Recibido: 3 Noviembre 2021

Aceptado: 17 febrero 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Introducción

Los medios audiovisuales enriquecen tanto la investigación forense como la exposición de datos de prueba durante las audiencias (1,2,3,4). Además de facilitar la explicación y captar la atención de los juzgadores, estos materiales pueden convertirse en representaciones de alta fidelidad de la realidad, siempre y cuando se sustenten sobre fundamentos físicos. Por estas razones, cada vez son más los profesionales del quehacer forense en aprovechar las tecnologías de representación virtual de hechos, en particular los mecánicos. Tal tendencia ha ocupado a investigadores en desarrollar y examinar programas de cómputo dedicados a la simulación de incidentes.

Por su cercanía al campo de la ingeniería, la pericial de hechos de tránsito ha sido una de las que más se ha beneficiado de tales sistemas de simulación para investigar colisiones de vehículos contra objetos duros o blandos (5,6,7). Así, en el mercado encontramos una gran variedad de software especializado para analizar particularidades de un choque. Entre las marcas más populares destacan nombres como: MADYMO, RACTT, Faro, Virtual-Crash, entre otras.

Por otro lado, situaciones que no involucran necesariamente la colisión de algún vehículo también se auxilian de la reconstrucción virtual aunque son menos frecuentes tanto en el quehacer como en la literatura académica. Algunas aplicaciones se encuentran en las especialidades relacionadas con fallas estructurales (8), trayectorias balísticas (9), precipitaciones de personas (10), entre otras.

La carencia de literatura sobre la aplicación de simulaciones en temas forenses es clara entre los países subdesarrollados. En tales lugares, es notoria la falta de difusión de estas herramientas digitales, provocando que los practicantes —en particular de criminalística y de fiscalía— desconozcan su utilidad para fortalecer la investigación y su utilidad suasoria en la corte. La mejor forma de suprimir tal abandono es mediante la divulgación del desempeño de tales programas para estudiar casos concretos de interés forense.

Así, este manuscrito presenta el estudio de una precipitación fijada en video. La exposición comienza con una diferenciación entre animación y simulación. Después, se establecen los fundamentos forenses esenciales del acto de precipitación. Se detallan las características y análisis de las imágenes para obtener las distancias y velocidades claves del movimiento. Luego, se explica la construcción del modelo virtual más fiel a la precipitación videograbada. En la sección de resultados se comparan parámetros del video y modelo, del que mostramos la robustez de su resolución. La coherencia entre el movimiento grabado en video y el simulado, son parte de la sección de discusión sobre la plausibilidad y alcances de este tipo de herramientas. Por último, presentamos las conclusiones del trabajo.

Distinción entre animaciones y simulaciones

Por sus consecuencias en la vida de las personas, es trascendental en el quehacer forense distinguir entre una animación y una simulación por computadora. Tanto los programas de animación y simulación pretenden reproducir la sensación de movimiento en las figuras representadas. Sin embargo, los programas de animación crean estos efectos únicamente a través de medios artísticos y es libre el movimiento de los cuerpos. En contraste, los programas de simulación cuentan con restricciones con el objetivo de imitar con realismo el movimiento de los cuerpos. Las condiciones impuestas son diversas, abarcan desde las dimensiones de los objetos, la amplitud permitida a las rotaciones, translaciones y deformaciones, así como su respuesta ante la presencia de fuerzas, como la gravedad. Las cuatro funciones esenciales de los programas de simulación son:

1. Añadir texturas a las superficies creadas.
2. Desarrollar entornos de iluminación.
3. Enfocar imágenes desde varios puntos de vista.
4. Reproducir movimientos de los objetos.

Las simulaciones han sido parte importante del progreso del quehacer en áreas diversas como ingeniería, química, biología y medicina; también pueden ser parte de reconstrucciones de hechos mecánicos en incidentes diversos, entre los cuales están las precipitaciones.

Fundamentación de precipitaciones

Este documento refiere al término “precipitación” al movimiento de un cuerpo al caer por debajo de su plano de sustentación, sin diferenciar la altura de la caída. Las precipitaciones pueden causar la muerte o discapacidad, debido a los traumas severos que sufren las víctimas (11,12). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, internacionalmente las caídas y precipitaciones son la segunda causa de muerte por traumatismos involuntarios, con 684,000 fallecimientos anuales. De hecho, cada año se producen más de 37 millones de caídas de tal gravedad que requieren hospitalización (13).

La interrogante de investigación en la mayoría de las precipitaciones se centra en determinar si el hecho fue consecuencia de una maniobra accidental, suicida u homicida. La reconstrucción de estos casos suele ser confusa pues en pocas ocasiones los testigos dan cuenta objetiva y a detalle del suceso, menos frecuente es registrar en video el movimiento completo. Peor aún, en ocasiones la zona del impacto o donde se localiza el cuerpo es documentada con imprecisiones. Todo esto deriva en que los resultados visuales y numéricos de las

reconstrucciones mecánicas sean fundamentales para sustentar la plausibilidad de la teoría del caso en cuestión.

Inhwan Han clasificó en ocho rubros generales las posturas de las precipitaciones (14), pero el autor consideró que el suicidio es más frecuente en una postura de pie y frente al vacío, omitiendo otras posturas factibles. La idea de categorización es útil en la investigación general y para este trabajo particular, por eso la presentamos, pero considerando los casos de suicidio con movimiento (15); por lo que añadimos esta categoría singular. La figura 1 muestra la versión mejorada de categorización de diferentes tipos de precipitación. Las causas están divididas en tres grupos: accidente, suicidio y homicidio. Por su parte, cada grupo se dividió considerando posturas típicas al inicio del movimiento de caída.

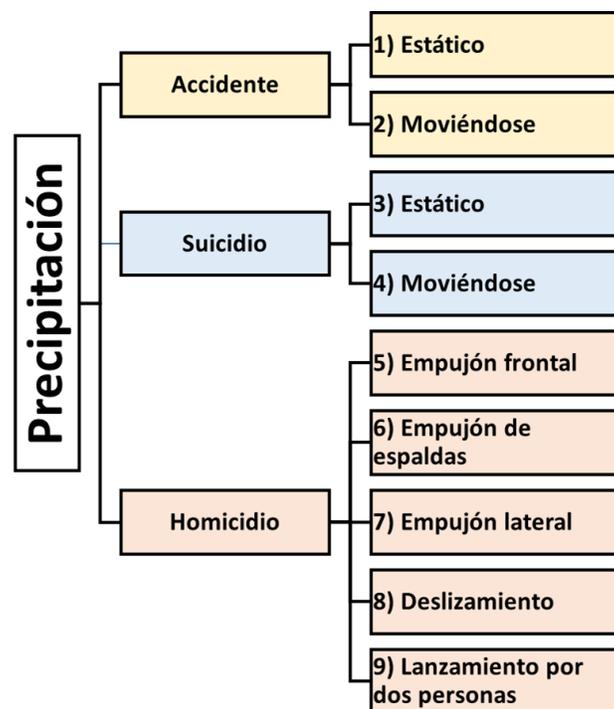


Figura 1. Clasificación de nueve tipos de precipitaciones.

Con el propósito de observar los aspectos biomecánicos de las precipitaciones y compararlas con simulaciones numéricas, en algunos trabajos se ha recurrido a cadáveres o maniqués físicos (16), sin embargo al ser cuerpos inertes extendidos dificultan su montaje auto-sostenido y su posterior desplazamiento. También se han empleado voluntarios quienes maniobran en diversas circunstancias; a pesar de ello, por cuestiones éticas, las condiciones de seguridad y de preparación de los participantes subordinan la espontaneidad en el desarrollo de la precipitación (17). Finalmente, en otras investigaciones se han utilizado videos de incidentes (18,15), si bien carecen de control, cuentan con la naturalidad en la reacción, por lo que su movimiento es un referente

verosímil en situaciones forenses concretas. En esta ocasión, presentamos un análisis comparativo de un video público de una precipitación accidental con una simulación por computadora.

Objeto de estudio

Para esta investigación se eligió el video de la precipitación de una clavadista. Las imágenes muestran desde un trampolín de 3m, a una persona resbalando y precipitándose; gira en el aire y se zambulle en la fosa acuática que amortigua el impacto. Así, podemos conjeturar que la persona resultó sin heridas graves en el accidente. El movimiento fue registrado con una cámara fija en toma lateral respecto a la orientación de la estructura del trampolín. En competencias y entrenamientos, es frecuente utilizar esta posición para observar el desempeño deportivo.

De acuerdo con TinEye, un buscador de acceso público y especializado en imágenes, este video fue divulgado por primera vez en la red social Reddit, con el título “WCGW jumping to the pool”, en la comunidad Whatcouldgowrong, el 13 de julio del año 2020. Las imágenes han logrado cierta popularidad en Internet. Los fotogramas de 720×802 píxeles se reproducen a 30 f/s para conformar 5 s de duración y ocupando 233 KB de almacenamiento. El video cuenta con la suficiente calidad pixelar para distinguir a detalle el movimiento, pero sin alcanzar a diferenciar algún rasgo del rostro, por lo que la identidad de la clavadista permanece en el anonimato.

Entonces, siendo un material multimedia que exhibe desde el inicio una precipitación accidentada, de carecer de datos para identificar a la persona y que la escena es apta para ser vista por el público en general: el video es técnica y éticamente idóneo para ser analizado y presentado con fines académicos. Por ejemplo, para estudiar la eficacia de una reconstrucción virtual.

Videoanálisis de la precipitación

El video fue analizado mediante el programa Tracker-physics, el cual ya se ha utilizado para estudiar movimientos mecánicos de interés forense y se ha reportado en publicaciones académicas (19,18). Siendo así que, el software es adecuado para examinar nuestro caso.

Las características del video permiten evitar el uso de filtros correctores de efectos o ruidos provocados por el sistema óptico o del movimiento de la cámara, tampoco requiere mejoras de contraste o brillantez. La altura de 3 m del trampolín al nivel de la superficie del agua de la alberca fue la referencia para transformar la distancia en píxeles a metros. Entonces, la medida de la altura de la clavadista fue 1.5 ± 0.02 m. También se midieron la distancia horizontal donde la cabeza impactó contra el agua, así como el centro de masa: 0.76 ± 0.02 m y 1.2 ± 0.02 m, respectivamente. La figura 2 muestra la relación de la estura y el

Entonces, las coordenadas cartesianas de la precipitación fueron: $(x,y) = (1.2, -3.75)m$, obteniendo una rapidez mínima de lanzamiento de $1.35 \pm 0.14m/s$. Esta rapidez cercana a la reportada como la típica de caminata: $1.4 m/s$ (21,22). Además es congruente con la medición a través de los datos del video. Con esta información podemos construir el modelo virtual.

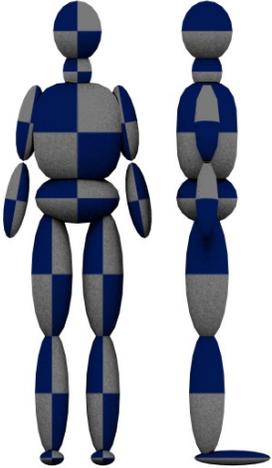
Construcción del modelo virtual

Utilizamos el programa Virtual-Crash 3, un software especializado en reconstrucción de hechos de tránsito (6,7). Sus desarrolladores han sugerido que también puede ser útil para estudiar la biomecánica de precipitaciones. Al entorno de trabajo se incorporaron los elementos indispensables para representar esta precipitación. Primero, se añadieron los objetos arquitectónicos. La plataforma y el trampolín (con una inclinación descendente de 2°) se construyeron mediante dos estructuras rectangulares rígidas carentes de movimiento. Además, para representar el agua y el sitio donde impactó la cabeza de la clavadista contra la superficie en la fosa se colocaron una caja de color azul-agua y un disco rojo, ambos libres de interacción mecánica.

El modelo de la clavadista utiliza los datos medidos a través del análisis del video. La altura del personaje virtual es de 1.5 m. Una caída de tres metros de una persona es insuficiente para apreciar los efectos de resistencia entre el cuerpo y el aire; entonces, la trayectoria del centro de masa es independiente de la masa del cuerpo. Sin embargo, el programa exige definir la masa del personaje virtual. Conjeturando que la persona se encuentra en su “peso ideal”, se le asignó una masa de 55 kg. El modelo cuenta con articulaciones y secciones de diferente masa, lo que le permite movimientos más realistas. La distribución de la masa entre secciones del modelo se detalla en la tabla 1. La apariencia de la clavadista es la genérica del programa, su aspecto no afecta el desempeño de la simulación. Para los fines de este documento, esta representación es suficiente.

Las investigaciones forenses son retro-proyectivas, por lo cual los indicios (i.e. efectos finales) son la guía para encontrar los estados iniciales (i.e. causas). Por ejemplo, se utilizan los datos de la postura final (al momento de que la cabeza impacta contra el agua) con el objetivo de determinar la postura inicial (de la persona sobre el trampolín al inicio de la precipitación). El proceso comienza proponiendo una postura inicial y se evalúa el resultado final. Después, se corrigen las posiciones iniciales de los elementos para continuar en el ciclo, hasta obtener una postura final lo suficiente coherente con la documentada. La figura 3 muestra un esquema de este proceso. En este caso, contamos con datos tanto de la postura inicial (cuadro 56 del video) como la que llamamos final (cuadro 85 del video). La meta es determinar la precisión que puede alcanzar el programa de simulación para obtener estas dos posturas, las que se compararon mediante parámetros de distancia, ángulo y la velocidad alcanzada.

Tabla 1. Apariencia y porcentajes de la masa por segmento del modelo virtual.

Apariencia frontal y lateral sin superficie del modelo virtual	Nombre del segmento	Porcentaje de masa (%)
	1) Cabeza	6.41
	2) Cuello	3.85
	3) Torso	28.21
	4) Cadera	15.38
	5) Brazo superior izq.	2.82
	6) Brazo inferior izq.	1.92
	7) Brazo superior der.	2.82
	8) Brazo inferior der.	1.92
	9) Fémur izq.	11.54
	10) Pierna inferior izq.	5.13
	11) Pie izq.	1.67
	12) Fémur der.	11.54
	13) Pierna inferior der.	5.13
	14) Pie der.	1.67

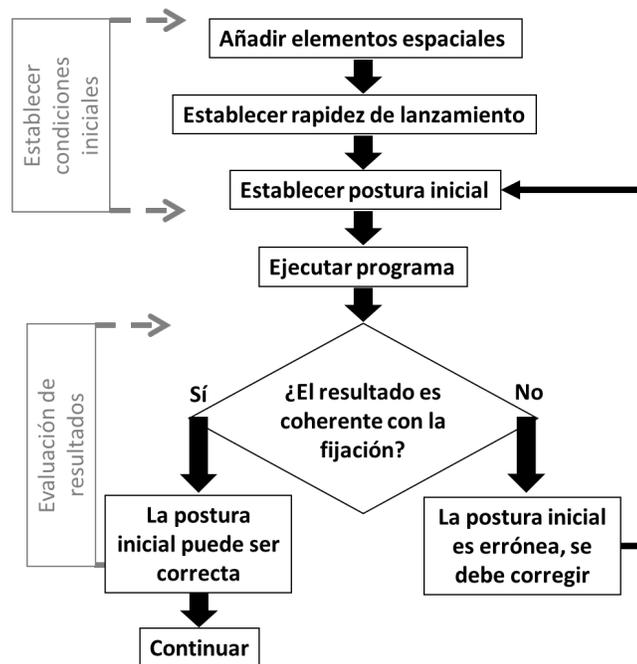


Figura 3. Diagrama de flujo que resume el trabajo para obtener la postura final utilizando los datos de entrada de la postura inicial.

Resultados

Las figuras 4 y 5 muestran diferentes vistas de la postura inicial y final, respectivamente. La dinámica de las posturas –a diferentes vistas– está disponible al lector mediante un video en Internet (23). La figura 6 presenta las capturas de pantalla del video y la simulación (en toma lateral izquierda). Mediante un efecto estroboscópico, en cada cuadro se muestran tres posturas: la inicial, una intermedia (en diferentes tiempos entre video y simulación) y la final. La figura 7 detalla la postura final tanto en el video como en la simulación.

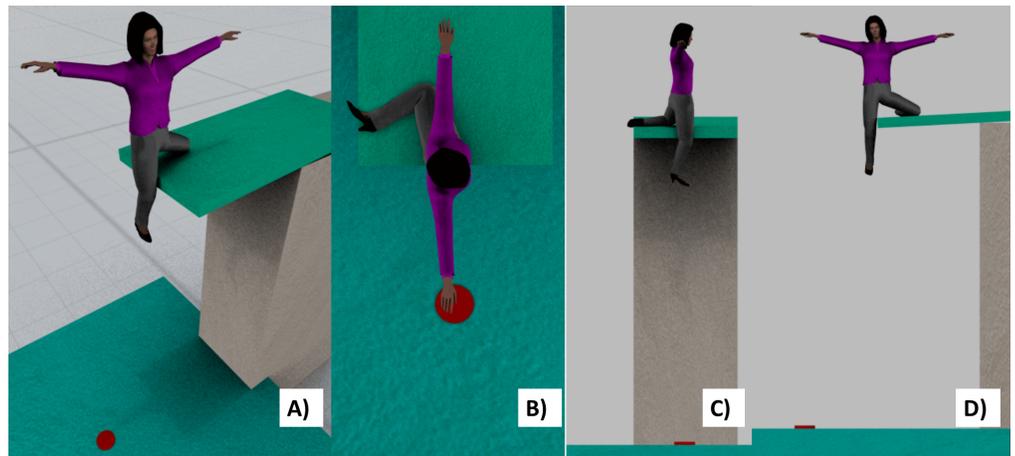


Figura 4. Postura inicial propuesta desde cuatro ángulos diferentes: A) perspectiva, B) cenital, C) frontal y D) lateral izquierdo.

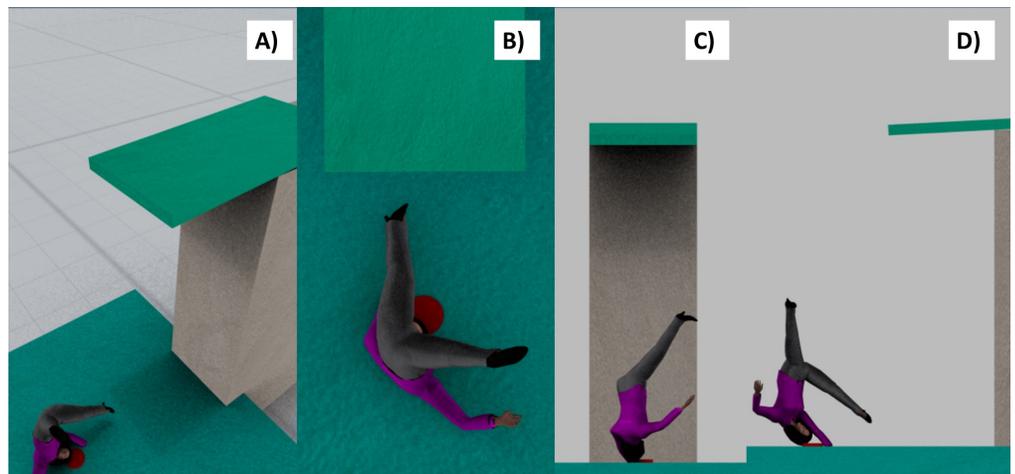
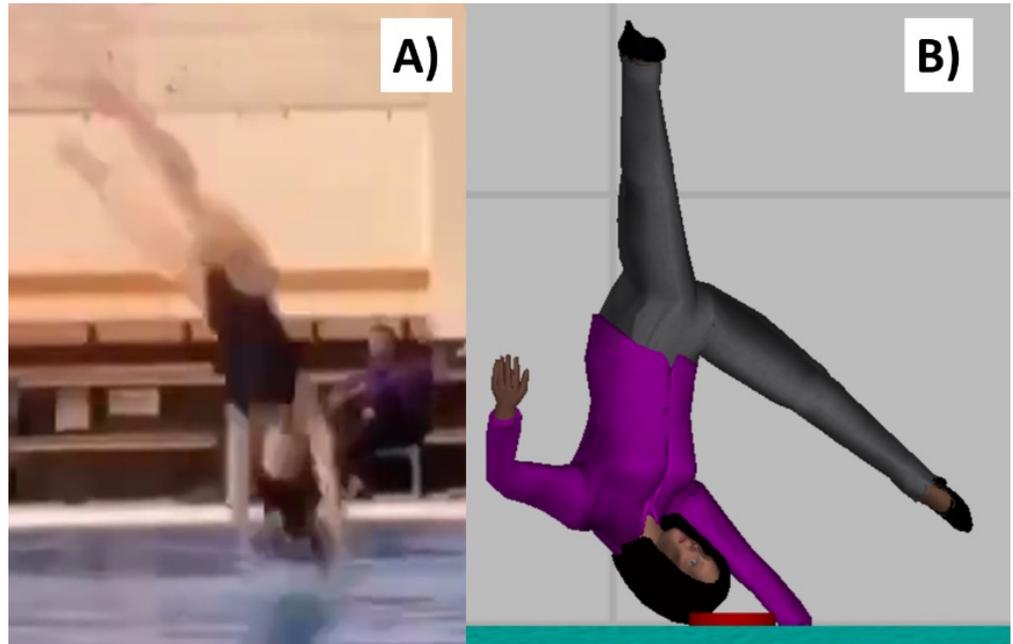


Figura 5. Postura inicial propuesta desde cuatro ángulos diferentes: A) perspectiva, B) cenital, C) frontal y D) lateral izquierdo.

Figura 7. Detalle del cuadro considerado como postura final (antes de que la cabeza se zambulla) A) del video y B) de la simulación.



Robustez de la respuesta

La respuesta de la simulación (al tiempo = 0.858 s) en función de los parámetros se ilustra en las figuras 8 y 9. La figura 8 muestra las respuestas en la postura final como consecuencia de variar el ángulo de elevación del brazo izquierdo en tres posturas con diferencias consecutivas: -15° , 15° y 45° . Por su parte, la figura 9 presenta el resultado de las posturas finales –en tomas cenital y frontal– cuando se varía la velocidad de lanzamiento de 1.2 a 1.5 m/s. La respuesta de la robustez aclara cuales son los parámetros más críticos; es decir, los que con una pequeña variación alteran de modo general la respuesta de la posición de interés: la postura final en un hecho forense, o en este caso el ingreso a la piscina.

Comparaciones cuantitativas entre video y simulación

El video y su simulación muestran cualidades similares en la posición final. Tales como la cabeza del personaje virtual alcanzando la distancia del círculo rojo, la orientación del tronco y la cabeza favoreciendo la vista lateral izquierda, el brazo derecho desdoblado al ingresar en la fosa, la posición de la cabeza-pies apuntando el trampolín hacia afuera, entre otras semejanzas. Más aún, también existen similitudes entre algunas mediciones clave en que derivarían a la posición estática. Por ejemplo, el ángulo entre la horizontal, la cabeza y la pierna derecha

es 113° y en la simulación es 99.4° ; son similares estos ángulos en 88.0%. El tiempo de vuelo en el video es 0.767 s y en la simulación es 0.859 s; la similitud del tiempo transcurrido entre el comienzo del movimiento hasta que la cabeza choca con el agua es 89%. La rapidez máxima que alcanza la cabeza durante la precipitación es 7.66 m/s y en la simulación es 7.33 m/s, las dos cantidades son similares en 95.6%. Finalmente, en el video la cabeza alcanza el nivel del agua con una rapidez de 5.35 m/s, mientras que en la simulación es 7.11 m/s, la similitud es 75.2%. Tanto con las comparaciones cualitativas y cuantitativas podemos validar el grado de exactitud de la simulación para representar al video.

Figura 8. Ejemplo de la estabilidad de la respuesta al variar en ángulo del brazo izquierdo en A) - 15° , B) 15° y C) 45° .

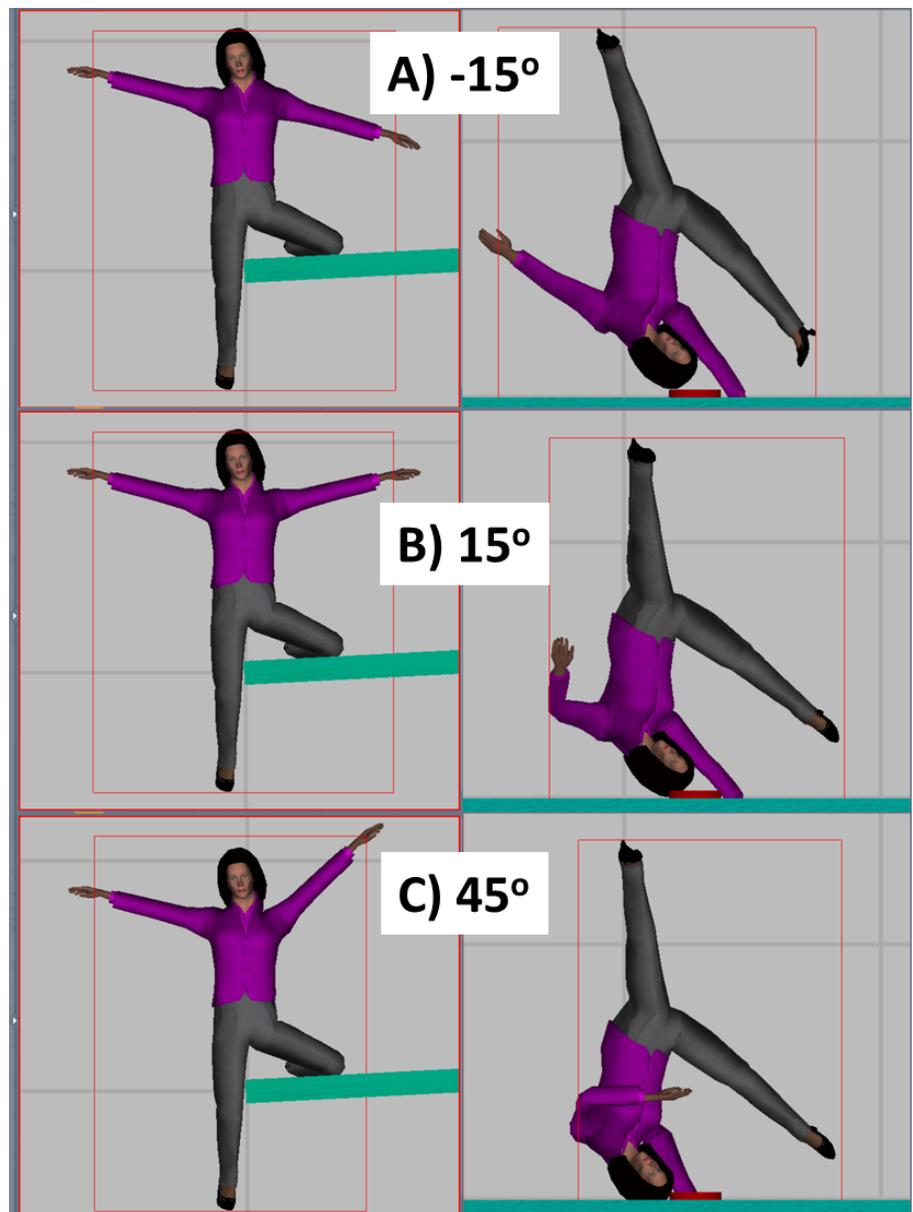
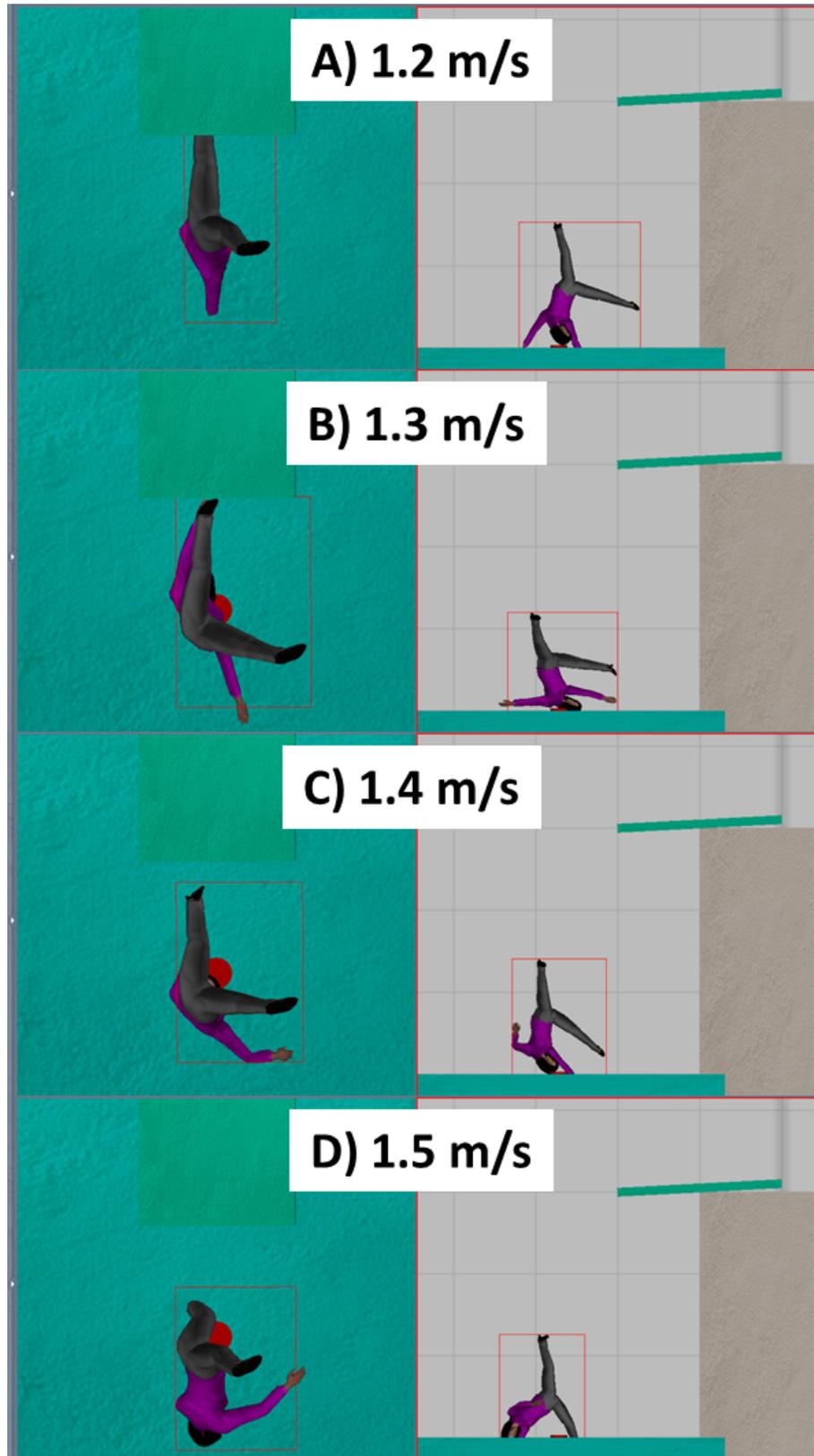


Figura 9. Vistas de la estabilidad de la respuesta (en vista cenital y lateral izquierda) al variar la velocidad de lanzamiento de 1.2 a 1.5 m/s.



Discusión

El video de la precipitación es adecuado como material de análisis, a pesar de carecer de datos de otros puntos de observación, los que permitirían precisar la postura inicial del personaje virtual y por ende mejorar el resultado final en la simulación. Los elementos arquitectónicos necesarios para la simulación son pocos y espacialmente sencillos de observar, lo cual es una ventaja en este tipo de trabajos comparativos. El personaje virtual está compuesto por un mínimo necesario de articulaciones; añadir más uniones móviles no garantiza mejorar la simulación. Por ejemplo, por la baja representación en la masa (de aproximadamente el 0.1%), la incorporación de una articulación entre la falange media y distal del dedo meñique de la mano derecha es una insignificante la ganancia de precisión. Al contrario, añadir más articulaciones incrementa el número de posibles parámetros a considerar, dificultando el trabajo de reconstrucción. Por ello, el modelo articular para el personaje virtual es el adecuado.

Por otro lado, al inicio del movimiento se observa a la clavadista maniobrar para tratar de recuperar la compostura: estira y junta sus extremidades inferiores y superiores, además de mantener erguido el cuello al momento de que su cabeza ingresa al agua. Estas evoluciones son resultado de voluntad y entrenamiento, cualidades que difícilmente se incluyen en el personaje virtual. Más bien, el modelo se comporta como un cuerpo inerte que cae libremente. Se podrían programar restricciones al movimiento articular y activarlas después de cierto tiempo, con la ventaja de ganar más similitud en la postura final. Por ejemplo, inmovilizando las sendas articulaciones del cuello y el codo. Sin embargo, es poco claro que se puedan incorporar tales recursos en una reconstrucción mecánica forense, pues implicaría una conjetura psicológica difícil de justificar objetivamente: el deseo de la intención de la persona por realizar una maniobra en el aire.

El examen de la estabilidad y la respuesta en función de cambios de parámetros es un trabajo indispensable en la reconstrucción. Algunos parámetros son más significativos que otros en el resultado final de la simulación. La figura 8 muestra con claridad que la respuesta, en general, es robusta ante variaciones de un brazo en $\pm 15^\circ$. La posición de la pierna derecha, tronco, cabeza y brazo izquierdo del personaje virtual es congruente con lo observado en el video. En contraste, los pequeños cambios en la velocidad de lanzamiento muestran consecuencias en el alcance que tiene el cuerpo. Esto reafirma que la rapidez inicial es el parámetro de entrada más importante en la reconstrucción (14). La figura 9 muestra el intervalo de valores tolerables, pero el que se debe utilizar es el que presenta mayor coherencia con los otros análisis, como lo es la rapidez mínima de lanzamiento. En lo que concierne al quehacer forense, es insuficiente solo presentar la mejor respuesta para sostener una teoría de caso, se deben revisar variaciones, alcances y otros escenarios.

Finalmente, la simulación del video obtenida es aceptable. Existen suficientes coincidencias cualitativas entre la posición final del video y la simulación para considerar ambas como semejantes. Aunque sin alcanzar el grado de alta precisión. Quedan de manifiesto las discrepancias entre ciertos ángulos de las extremidades en la posición final. La pierna derecha del video se encuentra más en una posición vertical, mientras que la simulación difiere por más de 90°. Ambos brazos de la clavadista se extienden para ingresar a la fosa a un ángulo pequeño, pero en la simulación el brazo izquierdo esta contraído. Por otra parte, las semejanzas numéricas del tiempo y la rapidez en la posición final no superan el 90%. Tales diferencias son insuficientes para convertir en catastrófico el resultado de la simulación, solo establecen un margen de lo que pueden alcanzar este tipo de simulaciones con tales datos. Por lo que las simulaciones forenses (al realizarse con cuidado y esmero) pueden aspirar al grado de plausibilidad.

Conclusiones

Realizamos el video análisis de una precipitación accidental de 3 m de altura. Con la información obtenida construimos un escenario y un personaje virtual, al que se le definieron parámetros de inicio para simular el movimiento de la persona al caer. Obtuvimos un resultado final coherente entre las imágenes en video y la simulación, pese a la incorporación de pocos elementos y conjeturas. Esto sugiere que este tipo de simulaciones puede ser una herramienta que brinde reconstrucciones mecánicas verosímiles en hechos de precipitación. Además, ratificamos que estas simulaciones permiten observar desde diferentes puntos de vista el movimiento, por lo cual es viable enriquecer la investigación forense y obtener claridad para comprender los hechos. En concreto, pueden convertirse en dictámenes de “reconstrucción de hechos mecánicos”. Sin embargo, es necesario realizar más exámenes de los alcances de estas simulaciones en otro tipo de casos propios de la criminalística de campo.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a proyecto: UNAM-PAPIME-PE115519, y carece de conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Baudino F. La Animación Forense en base a la Trayectoria Balística. *Skopein: La justicia en manos de la Ciencia*. 2014;(6): p. 6-10.
2. Batastini AB, Vitacco MJ, Coaker LC, Lester ME. Communicating violence risk during testimony: Do different formats lead to different perceptions among jurors? *Psychology, Public Policy, and Law*. 2019; 25(2): p. 92-106.
3. Schofield D. Graphical evidence: forensic animations and virtual reconstructions. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2009; 41(2): p. 131-145.
4. Raneri D. Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2018; 50(6): p. 697-707.
5. Zhang Sb, Liu L, Li H, Li Pf. A New Method for 3D Simulation of Traffic Accident Based on VISSIM. *International Conference on Green Intelligent Transportation System and Safety*. 2016;(419): p. 1-12.
6. Becker T, Reade M, and Scurlock B. Simulations of Pedestrian Impact Collisions with Virtual CRASH 3 and Comparisons with IPTM Staged Tests. *arXiv preprint*. 2015;; p. 1512.00790.
7. Gönczi AI, Cipleu A. Cross-Validation of Two Collision Modeling Software Based on the Reconstruction of a Real Collision-A Possible New Approach to Collision Reconstruction. *IAR International Congress of Automotive and Transport Engineering: Science and Management of Automotive and Transportation Engineering*. 2019;; p. 366-374.
8. Scalvenzi M, Parisi F. Progressive collapse capacity of a gravity-load designed RC building partially collapsed during structural retrofitting. *Engineering Failure Analysis*. 2021;(121): p. 105164.
9. Tuchtan L, Gorincour G, Kolopp M, Massiani P, Léonetti G, Piercecchi-Marti M, et al. Combined use of postmortem 3D computed tomography reconstructions and 3D-design software for postmortem ballistic analysis. *Diagnostic and interventional imaging*. 2017; 98(11): p. 809-812.
10. Muggenthaler H, Drobnik S, Hubig M, Schönpflug M, Mall G. Fall from a balcony-accidental or homicidal? Reconstruction by numerical simulation. *Journal of Forensic Sciences*. 2013; 58(4): p. 1061-1064.
11. El-Menyar A, Tilley E, Al-Thani H, Al-Thani H, Latifi R. Females fall more from heights but males survive less among a geriatric population: insights from an American level 1 trauma center. *BMC Geriatr*. 2019; 19(238): p. 9.
12. Fujii M, Shirakawa T, Nakamura M, Baba M, Hitosugi M. Factors influencing the injury severity score and the probability of survival in patients who fell from height. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): p. 15561.
13. WHO. Falls. [Online]; 2021 [cited 10 8 2021. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>.
14. Han I. haracteristic analysis and fuzzy simulation of falls-from-height mechanics, and case studies. *Forensic science international*. 2020;(311): p. 110287.
15. Torres-Zúñiga V. Medición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Revista de Ciencias Penales Iter Criminis*. 2016;(15): p. 65-83.
16. Ivancic PC. Hybrid cadaveric/surrogate model of thoracolumbar spine injury due to simulated fall from height. *Accident Analysis and Prevention*. 2013;(59): p. 185-191..
17. Yanagida Y, Maeda M, Nushida H, Asano M, Ueno Y. Determining falling patterns by estimation of horizontal distance and height. *Int.J Legal Med*. 2011; 125(1): p. 1-10.
18. Torres-Zúñiga V. Video-análisis por software-libre para obtener la velocidad de un automotor al impactar a un peatón. *Revista De Ciencias Forenses De Honduras*. 2017; 3(1): p. 10-18.
19. Segatto BR. Cuidados na elaboração de laudos periciais envolvendo vítimas fatais de queda de alturas usando o Tracker. *Revista Brasileira de Criminalística*. 2019; 8(1): p. 31-34.
20. Torres-Zúñiga V. Medición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Revista de Ciencias Penales Iter Criminis*. 2016;(15): p. 65-83.
21. Browning R, Baker E, Herron J, Kram R. Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *Journal of Applied Physiology*. 2006; 100(2): p. 390-398.
22. Mohler B, Thompson W, Creem-Regehr S, Pick HJ, Warren WHJ. Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Experimental Brain Research*. 2007; 181(2): p. 221-228.
23. <https://youtu.be/HHm2SpgLlxo>