



**Rev Mex Med Forense, 2022, 8(1):20-38**  
**DOI: <https://doi.org/10.25009/revmedforense.v8i1.2982>**  
**ISSN: 2448-8011**

**Simulación digital para reconstrucción mecánica de hechos en una precipitación**  
**Artículo Original**

Digital simulation for mechanical reconstruction of events in a precipitation

**Torres-Zúñiga, Vicente**

Recibido: 21 febrero 2022; aceptado: 5 abril 2022; Publicado: 15 Julio 2022

1. Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

Corresponding author: [Torres Zúñiga, Vicente, vicentz@gmail.com](mailto:Torres Zúñiga, Vicente, vicentz@gmail.com)

**Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud.**  
**Editorial Universidad Veracruzana**  
**Periodo Enero-junio 2023**

## RESUMEN

*Una reconstrucción de hechos mecánicos digital puede ser de utilidad para delimitar el conjunto de posturas y velocidades iniciales en un movimiento de precipitación; además de ilustrar las posibles trayectorias y movimientos del cuerpo mientras desciende. Tal información es útil para confirmar, afinar o descartar la hipótesis de cómo ocurrió un incidente forense. Este artículo ejemplifica la utilidad de un maniquí virtual para simular diferentes condiciones iniciales de un caso específico. Se presenta el mejor conjunto de parámetros iniciales que producen la mayor congruencia con los indicios de postura final, heridas y fracturas, las cuales solo se presentaron en el costado izquierdo del cuerpo. Siendo así que, una carrera frontal a 5 m/s y una ligera interacción con las ramas de un árbol cercano durante el salto fueron factores suficientes para provocar una dinámica que determinó la postura del cuerpo (1.69 m de alto y 50 kg) a una distancia horizontal de 7.78 m y vertical 13.35 m desde las coordenadas de origen, en el centro de masa del cuerpo. El análisis completo ejemplifica el potencial de las simulaciones como herramienta en el estudio de precipitaciones de considerable interés forense.*

*Palabras clave: precipitación, biomecánica, maniquí digital, multi-cuerpo, reconstrucción de hechos mecánicos, simulación numérica.*

## SUMMARY

*In forensic cases, for a mechanical digital reconstruction can be helpful to constrain a set of postures and velocities at the start of a fall from a high height. The simulations illustrate the possible trajectories and movements of the body in descent. This information is critical to confirm, refine, or change the cause hypothesis in incidents. This article shows the utility of a virtual dummy to simulate different initial conditions of a specific case fall from a three-story building. The best-input parameters produce the maxima congruence with the final posture and fractures, which only occurred on the left side of the body. Thus, a forward run of 5 m/s and a little interaction with the branches of a nearby tree at jumping were enough factors to cause a dynamic that ended with the final posture of the body (tall: 1.69 m, mass: 50 kg) at a horizontal distance of 7.78 m and vertical 12.5 m from the origin coordinates. The complete analysis demonstrates the potential of numerical simulations as a tool in forensic investigations of falls.*

*Keywords: fall, biomechanics, digital dummy, multi-body, reconstruction of mechanical events, numerical simulation.*

## INTRODUCCIÓN

Es una tendencia clara, que la solicitud de dictámenes y la publicación de trabajos académicos en materia de reconstrucción de hechos mecánicos han aumentado en los últimos años. Este fenómeno puede ser consecuencia de la accesibilidad de herramientas tecnológicas y la difusión global de la reconstrucción mecánica como medio para completar una investigación, e ilustrar acontecimientos en la etapa de audiencia (Raneri, 2018) (Reichherzer, Cunningham, & Coleman, 2021) (Luchowski, Pojda, Tomaka, Skabek, & Kowalski, 2021).

Dependiendo de los objetivos de estudio, tal tarea se puede realizar por diferentes medios. En algunas investigaciones se utilizan cadáveres; sin embargo, el material biológico conlleva desafíos de seguridad sanitaria y éticos (Arregui-Dalmases, Teijeira, Carmen Rebollo-Soria, Kerrigan, & Crandall, 2011). Y de igual manera que con el uso de maniqués físicos, implica un costo oneroso y se requieren instalaciones especiales (Pascoletti, Catelani, Conti, Cianetti, & Zanetti, 2019). Pero el principal problema en ambos casos es que son objetos inertes extendidos, de difícil montaje estable, que después es necesario desplazarlos. En otras pruebas se han recurrido a voluntarios, quienes maniobran en diferentes circunstancias (Yanagida, Maeda, Nushida, Asano, & Ueno, 2011). La desventaja de usar voluntarios radica en conservar una situación ética y segura para los participantes al pretender espontaneidad en los actos a reconstruir, los cuales suelen ser estresantes por definición.

Finalmente, se encuentran las simulaciones por ordenador. Por su afinidad a la ingeniería, las simulaciones en las áreas de fallas estructurales, balística y hechos de tránsito han sido muy beneficiadas por los sistemas computacionales para la reconstrucción de hechos (Tena-Colunga & Sánchez-Ballinas, 2022), (Riva, Mattijssen, & Kerkhoff, 2018), (Dascăl & Popa, 2021).

Por otra parte, el empleo de las simulaciones numéricas en el quehacer criminalístico es menor. En concreto, para casos de precipitaciones es más frecuente encontrar ilustraciones o animaciones que simulaciones numéricas. Posiblemente esto se deba a la falta de difusión de la accesibilidad, alcances y ventajas de tales sistemas fisicomatemáticos. Lo cual se puede revertir mediante la divulgación del desempeño de tales métodos de trabajo en casos concretos.

Este artículo detalla el estudio de una precipitación. La exposición inicia con los fundamentos forenses del acto. Luego, se explica la construcción del modelo virtual (entorno y maniquí) y cómo establecer un control de calidad básico para el estudio. En la sección de resultados y discusión se compara la estabilidad del resultado de salida del software en función de parámetros de velocidad, altura, masa, entre otros. Al final, exponemos las conclusiones del trabajo.

## Fundamentos de la precipitación

Nos referimos a “precipitación” a la proyección de una persona por debajo del plano de sustento desde una altura superior a su talla. Según los componentes inerciales y físicos involucrados, las precipitaciones pueden ser: por fases, postmortem, complicadas, aceleradas o simples.

Las precipitaciones pueden causar la muerte o la discapacidad, debido a los traumas severos que sufren las víctimas (Fujii, Shirakawa, Nakamura, Baba, & Hitosugi, 2021) (El-Menyar, Tilley, Al-Thani, Al-Thani, & R., 2019). 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 37 millones de caídas de tal severidad que requieren hospitalización (WHO, 2021). Cuanto mayor es la altura de precipitación, menor es la tasa de supervivencia. Por ejemplo, a alturas mayores de 10 m la mortalidad alcanza el 29.8 % de los casos (Içer, Güloğlu, Orak, & Üstündağ, 2013).

El principal proceso que provoca las heridas es la desaceleración. Una precipitación puede provocar heridas en: cabeza, tórax, columna vertebral, abdomen, cuello, pelvis y extremidades (superiores e inferiores) (Rowbotham & Blau, 2016). Además, se producen heridas cutáneas; tales como laceraciones, contusiones y abrasiones. Más aún, pueden ocurrir traumas indirectos en órganos internos. El conjunto de estas heridas y su severidad se utilizan como marcadores indirectos para inferir la altura de precipitación (Rowbotham & Blau, 2016).

En la mayoría de las precipitaciones, la interrogante de investigación es determinar si el hecho fue consecuencia de una maniobra accidental, suicida u homicida. La reconstrucción de estos casos suele ser confusa por la ausencia frecuente de testimonios coherentes, objetivos y a detalle del suceso, así como la falta de registros de video del movimiento completo. Peor aún, en ocasiones el lugar del hallazgo del cuerpo es documentado con imprecisión. Estas circunstancias conllevan a que los resultados visuales y numéricos de las reconstrucciones mecánicas sean fundamentales para sustentar la plausibilidad de la teoría del caso en cuestión.

Con fines de investigación, es conveniente clasificar en rubros generales las posturas iniciales de las precipitaciones (Torres-Zúñiga V. , 2022). La figura 1 muestra una categorización en tres grandes grupos: accidente, suicidio, y homicidio. Por su parte, cada grupo se dividió considerando posturas típicas al inicio de cada movimiento de caída. Los apartados 2) y 4) comparten la etiqueta de moviéndose, la cual se puede dividir en caminata y carrera.

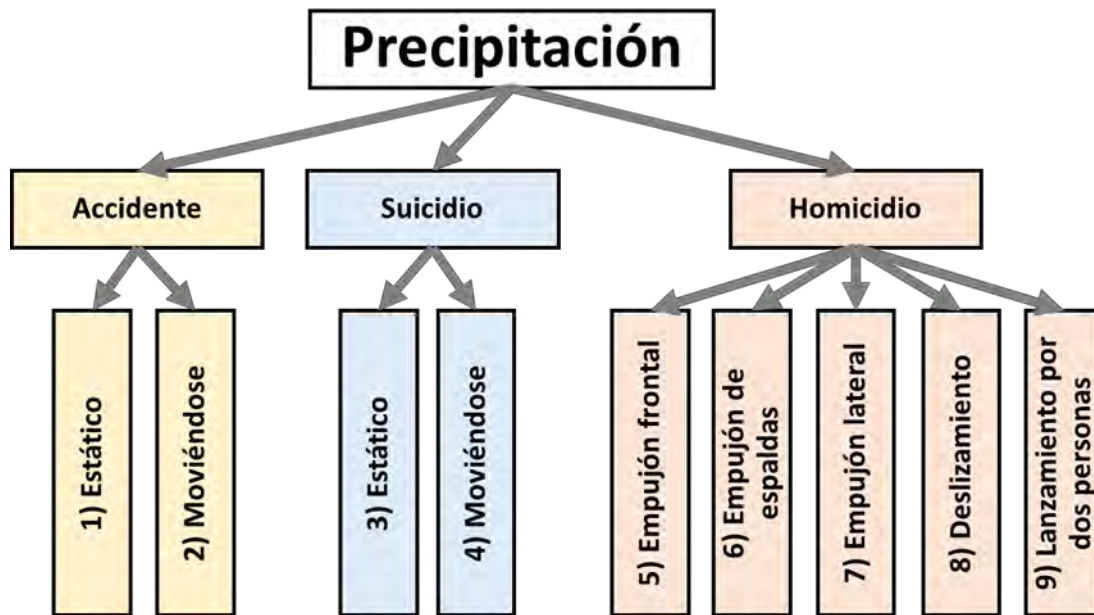


Figura 1. Clasificación general de nueve tipos de precipitaciones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Objeto de estudio

Cerca del amanecer, en la vía pública de una ciudad, se descubrió en posición decúbito lateral derecho un cuerpo desnudo, de talla 1.68 m y masa 50 kg. El cuerpo estaba orientado semi-paralelo a la dirección del flujo vehicular y presentaba diversas heridas del lado lateral derecho, mientras que su lado izquierdo se encontró intacto, en el pecho se encontraron escoriaciones leves que no formaban un patrón definible, ver figura 2. Entre las heridas destacaron: traumatismo craneoencefálico, fractura de mandíbula, costillas rotas y alteraciones en el hígado. No se observaron signos de sometimiento, forcejeo, defensa o lucha. El cuerpo fue encontrado a 7.78 m de la base de un edificio de tres plantas (aproximadamente 12.5 m de altura), donde la víctima habitaba y tenía acceso a la azotea, la cual carecía de barda o protecciones contra caídas. La carpeta de investigación carece de videos o testimonios sobre el momento de la precipitación. En el cuerpo de la víctima se encontró la presencia de 3,4-metilendioximetanfetamina, también llamada MDMA o “droga éxtasis”, la cual puede producir euforia, desinhibición, y en ocasiones alteraciones en la percepción por distorsión visual, alucinaciones y desorientación en el tiempo, así como casos de ansiedad y paranoia (Mauri, Paletta, & Di Pace, 2018). Este caso fue atendido por la fiscalía correspondiente y está cerrado. Los datos de la posición del cuerpo, estatura, masa, heridas y de acceso de la azotea son los únicos elementos utilizados para la reconstrucción digital.

Datos adicionales son omitidos por estar fuera de los objetivos de este trabajo académico y para conservar el anonimato de los involucrados.

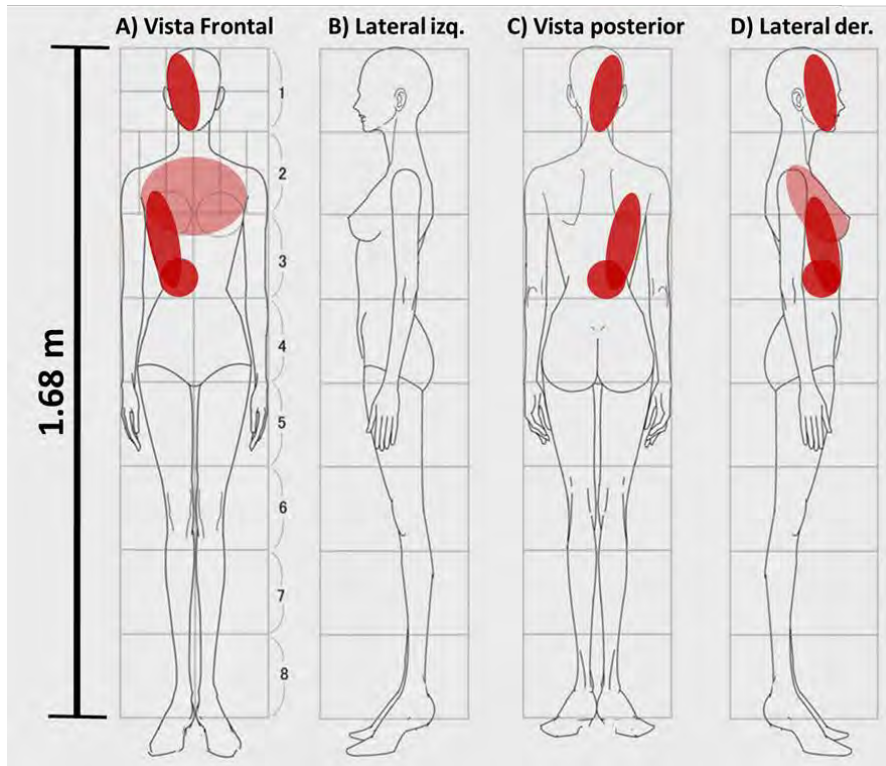


Figura 2. Esquema general de las heridas en el cuerpo. En rojo se marcan las zonas con heridas.

Es conveniente calcular la magnitud de la velocidad mínima de lanzamiento para que el centro de masa del cuerpo precipitado alcance la posición final respecto a la altura y distancia de la base del punto donde comenzó la caída (Torres-Zúñiga V. , edición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones, 2016). Si  $(x, y)$  son las coordenadas del centro de masa del cuerpo precipitado en la posición final,  $r = \sqrt{y^2 + x^2}$  y  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ , ecuación de la rapidez mínima de lanzamiento es:

$$v_{0min} = \sqrt{g(y + r)}, \quad (1)$$

Y una incertidumbre asociada es:

$$\Delta v_{0min} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{gx}{v_{0min}r} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{gx}{v_{0min}} \left(1 + \frac{y}{r}\right) \Delta y\right)^2 + \left(\frac{v_{0min}}{g} \Delta g\right)^2}. \quad (2)$$

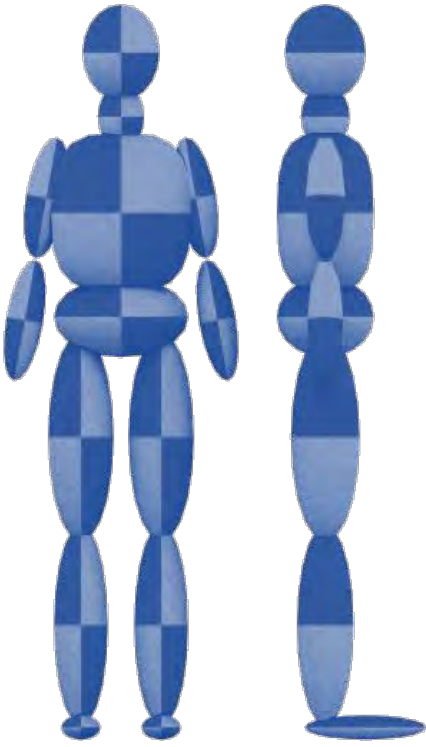
Para este caso, las coordenadas de la precipitación son  $(x, y) = (7.78, -13.35)$  m, considerando la suma de la altura del edificio y la de la mitad de la estatura de la víctima. La rapidez mínima de lanzamiento es  $4.5 \pm 0.01$  m/s, es decir la incertidumbre relativa porcentual es 0.3%. Esta rapidez supera los 1.4 m/s de una caminata normal (Browning, Baker, Herron, & Kram, 2006) (Mohler, Thompson, Creem-Regehr, Pick, & Warren, 2007). Así, el movimiento debe considerarse de carrera. Además, para estas condiciones, la distancia de lanzamiento es insuficiente para notar efectos de resistencia del cuerpo y el aire; entonces, se puede utilizar el modelo de trayectoria parabólica del centro de masa, del que se basa la ecuación 1. Con esta información podemos construir el modelo virtual.

### Construcción del modelo virtual

Se utilizó el software Virtual Crash 3, un programa especializado en reconstrucción de hechos de tránsito. Mediante los elementos indispensables se montó el entorno de trabajo. Tales como un edificio de cuatro niveles (12.5 m), la acera con su banqueta, un árbol de dimensiones estándar ubicado frente al edificio y un automóvil genérico para contribuir a la percepción de los tamaños de los objetos desde diferentes puntos de vista. También se añadieron cintillos de las distancias  $(x, y)$  y una mancha roja en el punto donde se encontró la cabeza de la víctima en la posición final.

Para el modelo de la persona corriendo se utilizan los datos registrados en la carpeta de investigación. El programa requiere la masa y estatura del personaje virtual, valores definidos en 50 kg y 1.68 m, respectivamente. La apariencia de la figura de una corredora genérica del programa, este aspecto no afecta el desempeño de la simulación. La postura inicial de carrera del maniquí virtual también es genérica del software. El maniquí posee articulaciones y secciones de diferente masa, que permiten obtener movimientos más verosímiles. La distribución de la masa entre secciones se detalla en la tabla 1. Para los fines de este trabajo, las características de esta representación son suficientes.

**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 derecho	11.54
	13) Pierna inferior der.	5.13
	14) Pie der.	1.67

Los indicios son la guía para encontrar el estado inicial más probable. Es decir, los efectos finales son la clave para obtener las causas. Así, los datos de las heridas y postura final deben ser los resultados de una postura inicial definida como dato de entrada para el programa. El proceso empieza al proponer una postura inicial y se evalúa la coherencia del resultado con los indicios. Si se requiere, se corrigen las posiciones iniciales por articulación para repetir el proceso, hasta lograr una postura final y que en la transición se observe coherencia con los impactos causantes de las heridas documentadas. Una vez que se obtienen las mejores condiciones se explora un intervalo de variación para diferentes parámetros, la tabla 2 muestra los datos variados para el mejor modelo. El propósito es observar la estabilidad de la respuesta para diferenciar entre parámetros que al modificarlos un poco ocasionan una respuesta diferente. La figura 3 puntualiza un esquema de este proceso.



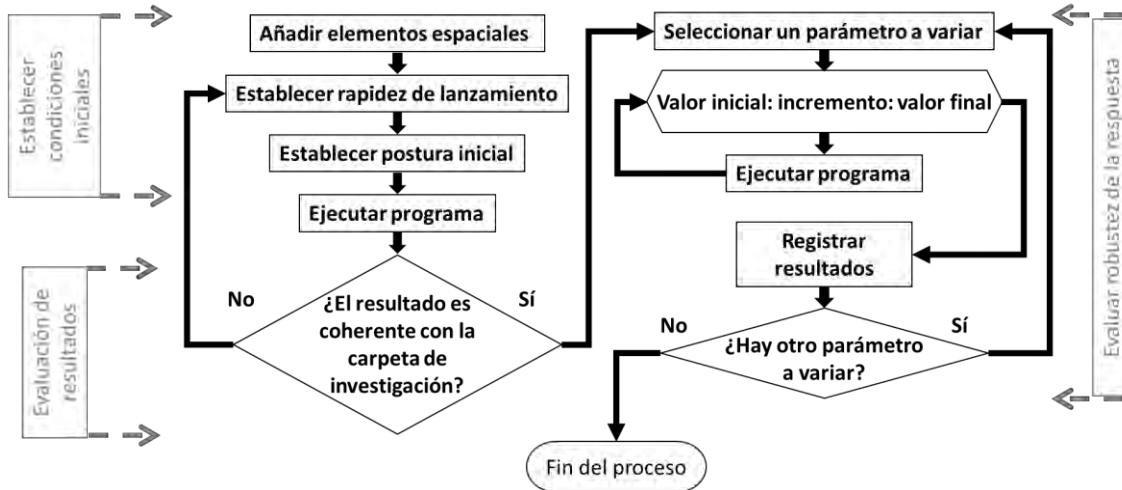


Figura 3. Diagrama de flujo sucinto del trabajo para obtener y evaluar la robustez de la postura final utilizando los datos de entrada de la postura inicial.

Parámetro	Intervalo de variación (Inicio: incremento: final)
Velocidad inicial, $v_0$ (m/s)	4.5:01:5.7
Talla del corredor, $h$ (m)	1.60:0.1:1.75
Masa del corredor, $m$ (kg)	45:2:56
Ángulo de cabeza, $\vartheta_c$ (grados)	-5:1:7

Tabla 2. Parámetros en el maniquí virtual e intervalos de variación

## RESULTADOS

### Vistas de la simulación

Desde la figura 4 hasta la 8 se muestran diferentes capturas de pantalla que detallan vistas y momentos relevantes de la simulación. Con el fin de comprender el entorno arquitectónico de relevancia forense, la figura 4 presenta vistas generales antes de iniciar el programa, también se señalan siluetas de interposiciones de la trayectoria.

La figura 5 muestra dos vistas cercanas a un momento antes de iniciar la precipitación. Por su parte, la figura 6 exhibe diferentes ángulos y vistas de la posición y postura final simulada, la cual es cercana a la documentada en la carpeta de investigación. La figura 7 presenta cuatro capturas de pantalla que detallen la postura un momento antes de que el cuerpo contacte contra el piso. De acuerdo con el resultado del programa, el cuerpo impactó primero el suelo con el costado derecho de un modo casi horizontal, lo cual es coherente con la distribución de heridas registradas y con las no observadas. La figura 8 enseña dos vistas panorámicas de la precipitación con interposiciones clave de la dinámica que ésta presenta. Las imágenes permiten centrar la atención en una escena, detalle o momento particular de la simulación numérica, las que se pueden complementar mediante un video que se pone a disposición mediante el hipervínculo:

<https://drive.google.com/file/d/1A8mPtpuhSgMwTX7s0WzquRGFIexpdtZf/view?usp=sharing>

Además, con el fin de profundizar en el estudio académico, el archivo fuente está disponible en internet en:

[https://drive.google.com/file/d/1frLuF4Fflh1f0R\\_7Bk4VwERCCzhX4\\_Ck/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1frLuF4Fflh1f0R_7Bk4VwERCCzhX4_Ck/view?usp=sharing)



Figura 4. Capturas de pantalla con vistas generales de la precipitación simulada, A) Lateral derecha. B) Lateral izquierda. C) Frontal. D) Cenital.

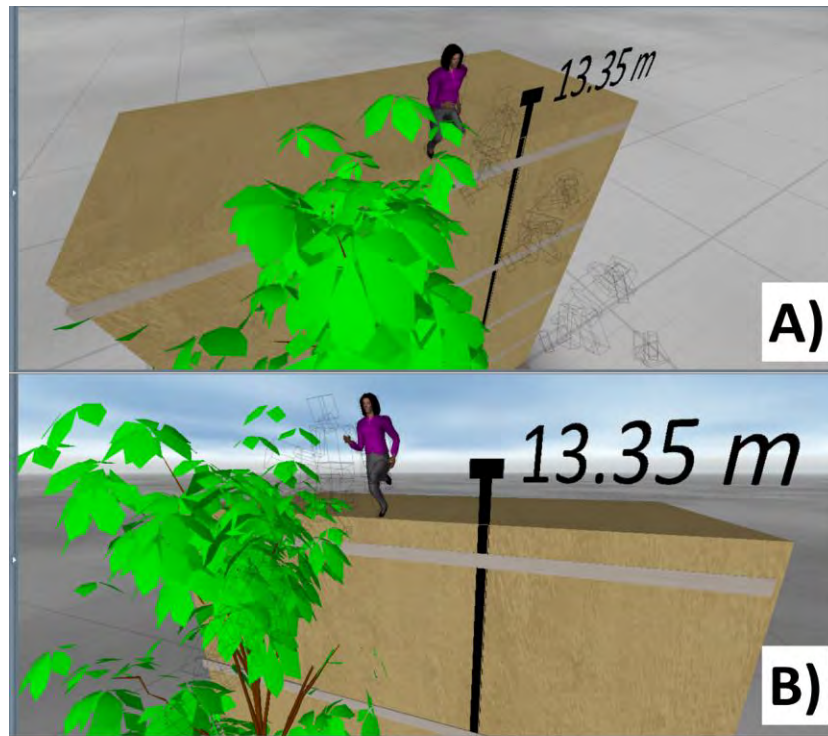


Figura 5. Capturas de pantalla con vistas cerca del nivel de la azotea del edificio un poco antes de iniciar la precipitación. A) vista con ángulo del lado izquierdo. B) vista con ángulo del lado derecho.

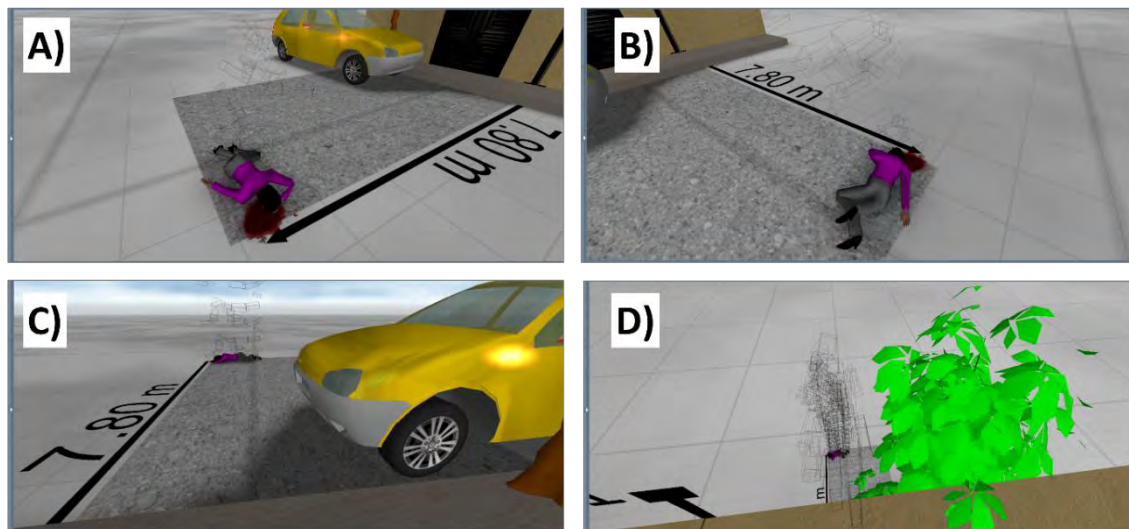


Figura 6. Capturas de pantalla de la posición final en la simulación. A) Vista superior derecha. B) Vista superior izquierda. C) Vista desde la puerta del edificio. D) Vista desde la parte superior del edificio.

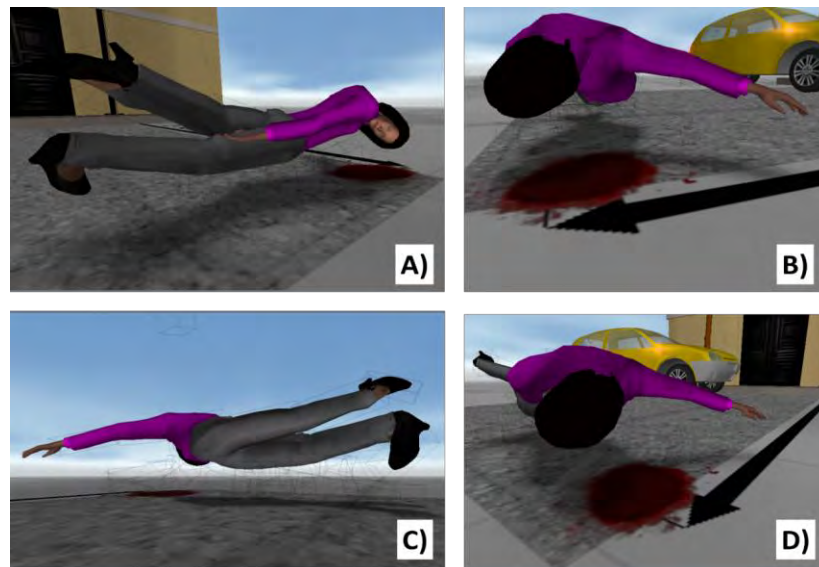


Figura 7. Capturas de pantalla de acercamientos (a nivel) un instante antes del contacto entre el maniquí virtual y el suelo. A) Vista por delante de la marca de distancia. B) Vista lateral derecha. C) Vista por atrás de la marca de distancia. D) Vista por delante la marca de distancia lado derecho.

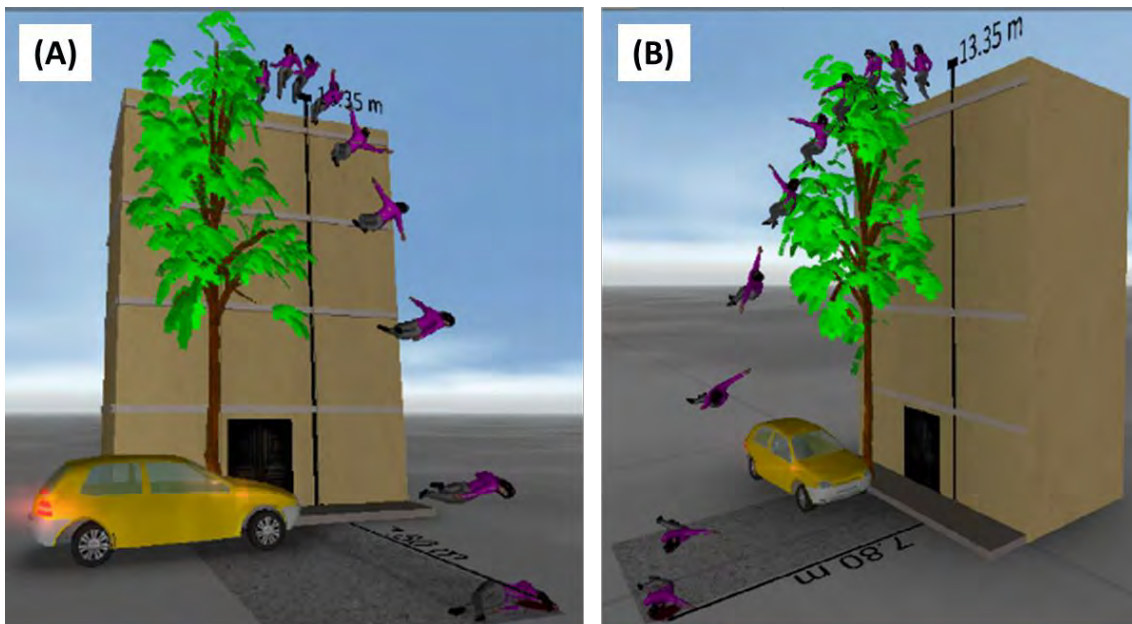


Figura 8. Capturas de pantalla con interposiciones de la dinámica de la precipitación. A) Vista con ángulo del lado izquierdo. B) vista con ángulo de lado derecho.

## Resultados cuantitativos

La figura 9 muestra gráficas compuestas con datos de la cadera y la cabeza del maniquí virtual. La figura 9(A) presenta la velocidad en función del tiempo, donde se señala el punto máximo con una velocidad de 59.5 km/h al tiempo de 1.7 s. Luego, esta rapidez disminuye súbitamente debido al impacto del cuerpo contra el suelo. Para complementar estos datos se adiciona la gráfica de distancia en función del tiempo, donde se marca 16.2 m como la distancia neta del recorrido de la cadera. Mediante un algoritmo de mínimos cuadrados se ajustó una función polinómica de segundo grado a los datos previo al impacto cuerpo-suelo. El coeficiente de correlación cuadrado R<sup>2</sup> revela que el ajuste es apropiado y la ecuación especifica que la aceleración del cuerpo es inferior a la gravitacional; dado que esta región del maniquí no corresponde al centro de masa y además afecta la contribución del choque del cuerpo contra el árbol. De modo similar, la figura 9(B) exhibe datos equivalentes pero de la cabeza. De acuerdo con las ecuaciones de ajuste la velocidad de despegue está entre 2.4 a 2.5 m/s (8.64 a 9 km/h).

La figura 10 presenta la aceleración de la cabeza en función del tiempo. Mediante una gráfica incrustada en la imagen se detalla la forma de la depresión súbita triangular del cambio de aceleración el momento de la colisión cabeza-suelo. Tal triángulo tiene una base de 0.01 s y se extiende 3074 m/s<sup>2</sup> (i.e. 313 veces la aceleración en caída libre g). Con esta información es posible obtener el head injury criterion (HIC) considerando una diferencia de tiempo de  $\Delta t = 0.036$  s y utilizando la ecuación (Virzi-Mariotti, 2019):

$$HIC\{\Delta t\} = \text{Max} \left[ \frac{1}{\Delta t} \int_{t_i}^{t_f} a(t) dt \right]^{2.5} \Delta t. \quad (3)$$

Obtenemos un puntaje HIC<sub>36</sub> de 2537 m<sup>2.5</sup>s<sup>-1.5</sup>, que de acuerdo con estimaciones de la “probabilidad de severidad de la herida craneal” el pronóstico de fatalidad a sobrevivencia incierta es de aproximadamente de 85 a 95% (Torres-Zúñiga V. , Umbrales y criterios físico-matemáticos en fracturas craneales, 2019), ver figura 11. Para el caso forense, el resultado final fue fatal. Pero, en este estudio el resultado del HIC solo es un indicador para evaluar como positiva la congruencia del registro en la carpeta de investigación y la simulación.

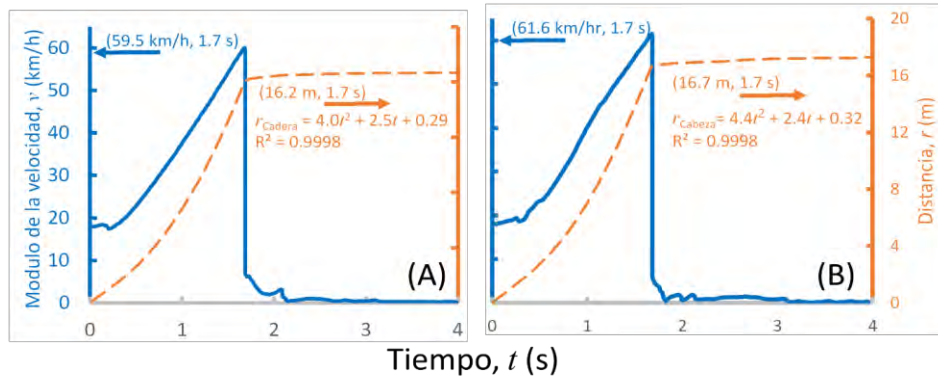


Figura 9. Gráficas de la simulación de la rapidez  $v$  (escala azul/izquierda) y distancia  $r$  (escala naranja/derecha) como funciones del tiempo  $t$  para la (A) cadera y (B) cabeza, respectivamente.

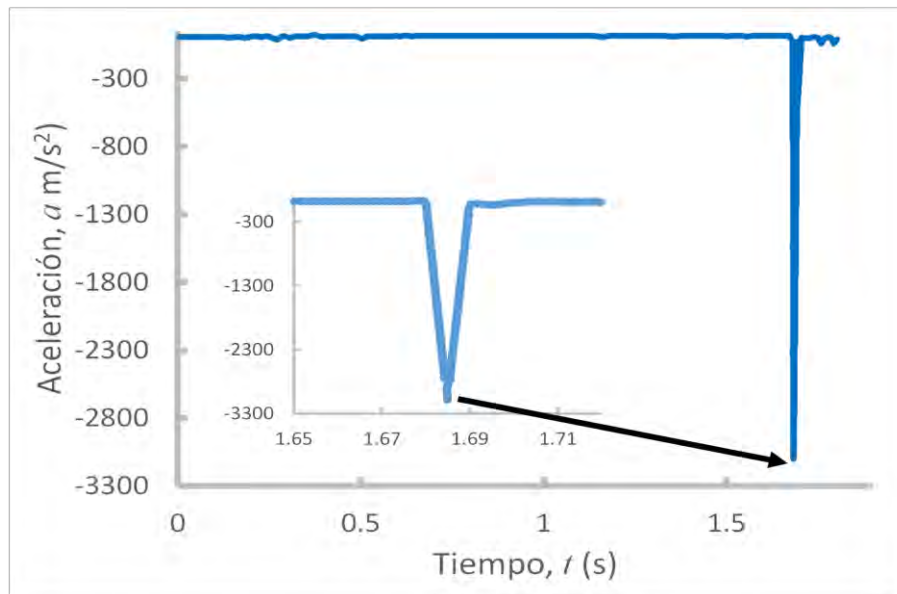


Figura 10. Gráfica de la aceleración de la cabeza en función del tiempo. La imagen incrustada muestra a detalle la forma triangular de la aceleración al momento del impacto contra el suelo.

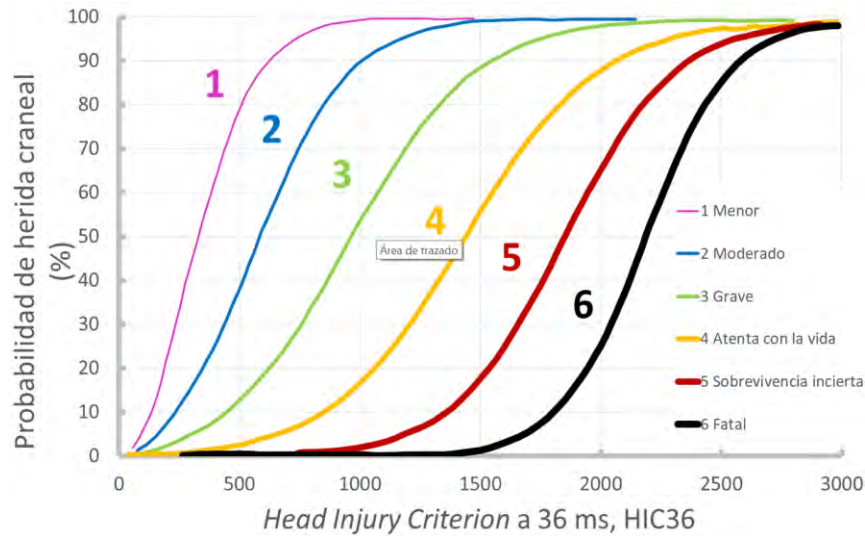


Figura 11. Curvas de probabilidad de presencia de heridas tipificadas en función del HIC.

### Estudio de Robustez

La figura 12 exhiba el resultado de la posición y postura final del maniquí virtual al eliminar el árbol de la simulación. Es decir, al retirar la interacción cuerpo-árbol al inicio de la precipitación. Sin este choque ligero inicial no se presentarían las escoriaciones superficiales observadas en el pecho de la víctima. Además, su posición estaría adelante del punto de registrado en la carpeta de investigación, la postura sería más perpendicular respecto a la dirección del flujo vehicular de la calle y se observarían otros puntos de contacto inicial entre cuerpo-suelo, los que conllevarían a la producción de otras heridas a las documentadas. De tal modo, la interacción entre cuerpo y árbol en esta precipitación es esencial para lograr similitud entre a simulación numérica y los registros de la carpeta de investigación.

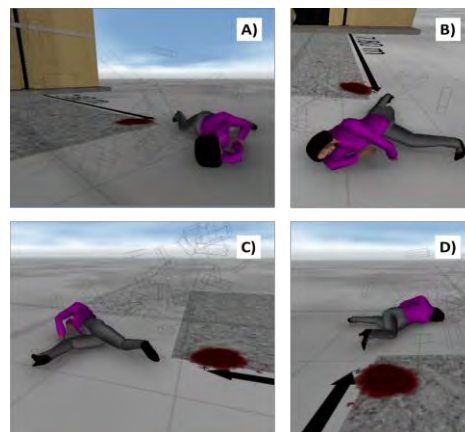


Figura 12. Cuatro capturas de pantalla de la simulación de la posición y postura final al eliminar el contacto con el árbol durante la precipitación.

La figura 13 presenta los resultados de posición y postura final al variar el módulo de la velocidad de lanzamiento. Los valores mostrados son desde A) la rapidez mínima calculada (presentado en párrafos anteriores) 4.5 m/s pasando por C) el valor de 5 m/s, que brinda los mejores resultados, hasta E) 5.7 m/s. Este estudio confirma que la rapidez de lanzamiento es uno de los parámetros de mayor relevancia en la reconstrucción digital de hechos forenses. Un cambio relativamente pequeño de la rapidez de lanzamiento conlleva a un cambio del estado final del cuerpo, aunque es de notar la tolerancia entre 5 a 5.5 m/s por la similitud entre posturas y posición finales, respectivamente.

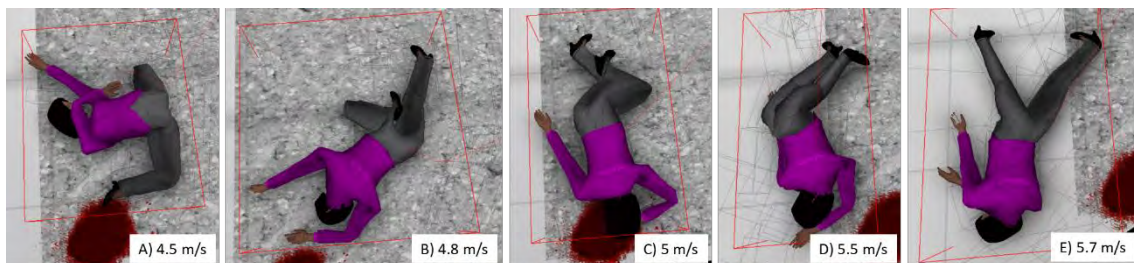


Figura 13. Capturas de pantalla de la posición y postura final variando la rapidez de lanzamiento del maniquí en el intervalo de 4.5 a 5.7 m/s.

La figura 14 muestra los resultados de robustez de la posición y postura final al cambiar la estatura del maniquí virtual desde A) 1.60 hasta D) 1.75 m. Es de notar la similitud de posturas entre B) 1.65 m y C) 1.69 m. En humanos, la estatura es un valor a considera con una incertidumbre de un par centímetros debido a las diferencias en los reportes médicos legales en las carpetas de investigación. Esto puede ser un efecto de la descompresión entre los discos de la columna vertebral al sostener por mucho tiempo una postura recostada que contrasta con el efecto de compresión al mantener una postura erguida a gravedad normal (Shelley Canright, 2009).

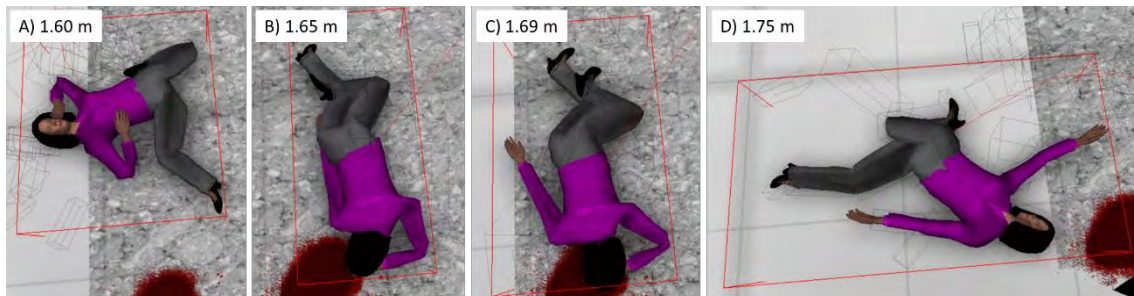


Figura 15. Capturas de pantalla de la posición y postura final al variar la masa del maniquí en el intervalo de 45 a 56 kg.



La figura 15 especifica las posiciones y posturas finales al variar la masa en el maniquí. El peso de las víctimas suele ser un parámetro inconsistente en las carpetas de investigación, por ello es importante explorar diferentes masas en las simulaciones. En este caso, observamos que las posturas son muy sensibles a los cambios de masa entre 45 a 56 kg, obteniendo la mejor respuesta a 50 kg.

Finalmente, variamos el ángulo de cabeza alrededor del eje vertical entre  $-5$  a  $7$ o. La figura 16 muestra como las posturas pueden diferir, pero la posición de la cabeza es cercana al manchón de referencia, lo cual manifiesta que este parámetro es más estable de los analizados anteriormente.

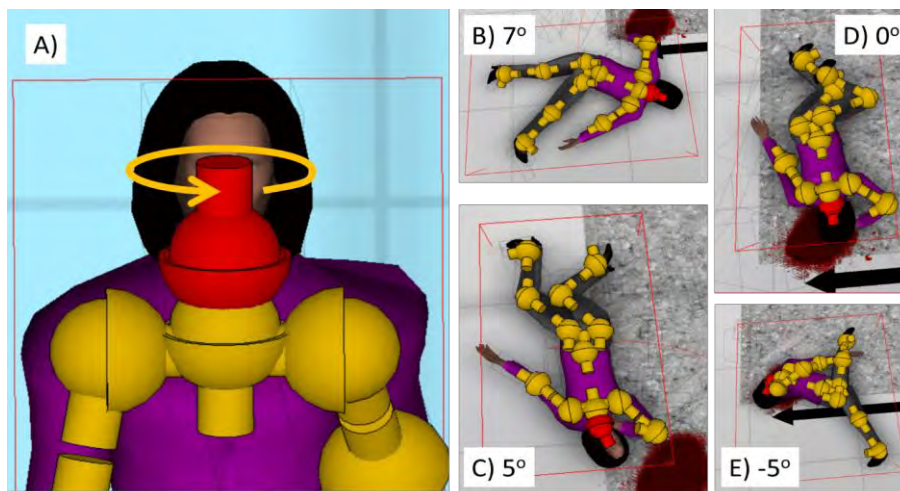


Figura 16. Capturas de pantalla A) del ángulo variado sobre el eje vertical de la articulación de la cabeza de maniquí para obtener (de B a E) posiciones y posturas finales en el intervalo de  $7$  a  $-5$ °.

## DISCUSIÓN

La reconstrucción digital de hechos mecánicos puede beneficiar la investigación forense al permitir visualizar diferentes condiciones en las que probablemente aconteció un incidente. Las simulaciones numéricas facilitan la exploración de los estados iniciales productores de los indicios. Más aún, seguir un método sistemático brinda verosimilitud al mejor resultado obtenido. En particular, los casos de precipitación pueden ser analizados con este tipo de herramientas.

A modo de ejemplo, este trabajo explora los productos y alcances que se pueden esperar de tales dictámenes, los cuales serán más certeros entre más información significativa contenga la carpeta de investigación. Así, encontramos que el maniquí virtual 1) situado en lo alto del edificio, 2) corriendo, 3) interactuando ligeramente con las ramas de un árbol son condiciones para el cuerpo gire en el aire y choque primero de su costado derecho contra el piso, además de que su posición y postura sean coherentes con los dictámenes de medicina legal y criminalística, respectivamente. Futuros trabajos del área deberán ser contrastados con experimentos realizados fuera de la computadora.

## Agradecimientos

El autor desea agradecer la revisión académica al manuscrito por parte del Maestro José Guadalupe Bañuelos Muñeron, y el apoyo económico al proyecto: UNAM-PAPIME-PE115519, y carece de conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

1. Arregui-Dalmases, C., Teijeira, R., Carmen Rebollo-Soria, M., Kerrigan, J., & Crandall, J. (2011). Biomechanics of the impact: A tool for legal and forensic medicine in traffic accident investigations. *Revista Española de Medicina Legal*, 37(3), 97-104.
2. Browning, R., Baker, E., Herron, J., & Kram, R. (2006). Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *Journal of Applied Physiology*, 100(2), 390–398.
3. Dascăl, A., & Popa, M. (2021). The 3D reconstruction of a road accident used the specialized program PC Crash 12.1. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1781(012052), 7.
4. El-Menyar, A., Tilley, E., Al-Thani, H., Al-Thani, H., & R., L. (2019). Females fall more from heights but males survive less among a geriatric population: Insights from an American level 1 Trauma Center. *BMC Geriatr*, 19(238), 9.
5. Fujii, M., Shirakawa, T., Nakamura, M., Baba, M., & Hitosugi, M. (2021). Factors influencing the injury severity score and the probability of survival in patients who fell from height. *Scientific Reports*, 11(1), 15561.
6. Içer, M., Güloğlu, C., Orak, M., & Üstündağ, M. (2013). Factors affecting mortality caused by falls from height. *Ulus Travma ve Acil Cerrahi Derg*, 19(6), 529–35.
7. Luchowski, L., Pojda, D., Tomaka, A., Skabek, K., & Kowalski, P. (2021). Multimodal Imagery in Forensic Incident Scene Documentation. *Sensors*(1407), 21.
8. Mauri, M., Paletta, S., & Di Pace, C. (2018). Hallucinations in the Substance-Induced Psychosis. In: Brambilla. En P. Brambilla, M. Mauri, & A. Altamura (Edits.), *Hallucinations in Psychoses and Affective Disorders*. (págs. 57-83). Springer.
9. Mohler, B., Thompson, W., Creem-Regehr, S., Pick, H. J., & Warren, W. H. (2007). Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Experimental Brain Research*, 181(2), 221–228.
10. Pascoletti, G., Catelani, D., Conti, P., Cianetti, F., & Zanetti, E. (2019). Multibody Models for the Analysis of a Fall From Height: Accident, Suicide, or Murder? *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*(7,419), 12.

11. Raneri, D. (2018). Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 50(6), 697-707.
12. Reichherzer, C., Cunningham, A., & Coleman, T. (2021). Bringing the Jury to the Scene of the Crime: Memory and Decision-Making in a Simulated Crime Scene. (709), 12.
13. Riva, F., Mattijssen, E., & Kerkhoff, W. (2018). Rifle bullet deflection through a soft tissue simulant. *Forensic Science International*, 291, 199-206.
14. Rowbotham, S., & Blau, S. (2016). Skeletal fractures resulting from fatal falls: A review of the literature. *Forensic Science International*(266), 582.e1-582.e15.
15. Shelley Canright, B. D. (9 de 4 de 2009). My How You've Grown. Recuperado el 17 de 2 de 2022, de NASA: [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/F\\_How\\_Youve\\_Grown\\_5-8.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/F_How_Youve_Grown_5-8.html)
16. Tena-Colunga, A., & Sánchez-Ballinas, D. (2022). The collapse of Álvaro Obregón 286 building in Mexico City during the September 19, 2017 earthquake. A case study. *Journal of Building Engineering*, 49, 24.
17. Torres-Zúñiga, V. (2016). edición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Revista de Ciencias Penales Iter Criminis*, 65-83.
18. Torres-Zúñiga, V. (2019). Umbrales y criterios físico-matemáticos en fracturas craneales. En *Investigación psicológica, criminología y biomédica del delito* (págs. 115-122). Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.
19. Torres-Zúñiga, V. (2022). Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación. *ReCiF*, 14.
20. Virzi-Mariotti, G. (2019). Head Injury Criterion: Mini Review. *Am J Biomed Sci & Res.*, 5(5), 2.
21. WHO. (10 de 8 de 2021). Falls. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>
22. Yanagida, Y., Maeda, M., Nushida, H., Asano, M., & Ueno, Y. (2011). Determining falling patterns by estimation of horizontal distance and height. *International Journal of Legal Medicine*, 125(1), 10.



**Revista Mexicana de Medicina Forense  
y Ciencias de la Salud**