




# Generación de fenómenos naturales mediante la simulación realista de sólidos deformables en Bifrost

José Cruz <sup>1</sup>, Juan M. Jurado <sup>1</sup> , J. Roberto Jiménez-Pérez <sup>1</sup>  y Lidia Ortega <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Grupo de Informática Gráfica y Geomática de Jaén, Universidad de Jaén, España

## Abstract

*La simulación de fluidos y sólidos deformables ha sido ampliamente estudiada en Informática Gráfica. Existen diferentes soluciones que posibilitan una simulación cada vez más realista en entornos del mundo real. Para ello, los objetos se modelan geoméricamente utilizando una malla de partículas. Esto permite la deformación de medios continuos asociando un conjunto de atributos a cada partícula que determinan su comportamiento y el de sus vecinas. En este trabajo se propone una herramienta interdisciplinar con la que generar simulaciones de fenómenos naturales como avalanchas o inundaciones. Gracias a este tipo de simulaciones físicamente realistas se consigue una manera efectiva de predecir y evaluar con un alto nivel de detalle el impacto producido por distintos tipos de desastres naturales.*

## CCS Concepts

• **Computing methodologies** → *Computer graphics; Physical simulation; Photorealistic rendering;*

## 1. Introducción

La simulación de medios continuos ha sido objeto de investigación durante décadas, tanto en el ámbito de la informática gráfica como de la física [PJH16]. La física, a través de la mecánica de sólidos deformables, permite el cálculo de las velocidades relativas y el cambio de forma de las partículas que componen un cuerpo. De igual forma, un fluido no deja de ser un tipo de medio continuo formado por partículas. A diferencia de un sólido deformable, un fluido no posee fuerzas restitutivas, es decir, no se produce la recuperación al estado inicial del medio.

En este trabajo se propone un prototipo para el acercamiento de la simulación de fenómenos naturales a expertos de otras disciplinas, clave en su investigación y análisis. Para ello, se ha desarrollado una interfaz intuitiva con la que configurar la animación que se basa en el método denominado Material Point Method (MPM). El prototipo desarrollado se trata de un *plugin* para el software Autodesk Maya que se apoya en Bifrost para el desarrollo de la simulación. Este *plugin* posibilita la generación automática de fenómenos naturales tanto en escenarios urbanos como naturales. En concreto, en este estudio se presentan dos tipos: una avalancha de nieve y una inundación provocada por un tsunami en una zona costera.

## 2. Trabajo previo

Inundaciones, terremotos y otros fenómenos naturales extremos presentan un alto impacto en nuestra sociedad tanto a nivel humano como económico. Esto ha llevado a la creación de simulaciones pa-

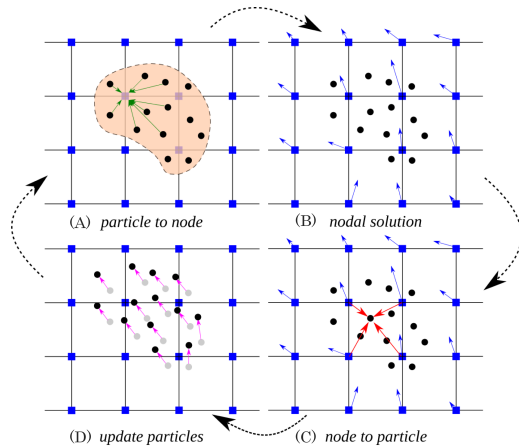
ra la ayuda en la toma de decisiones relacionadas con actividades para la prevención de desastres naturales, como por ejemplo, alertas con antelación a residentes ante una situación de emergencia. Otra aplicación es la ayuda a la planificación de respuestas contra desastres.

Estas simulaciones realistas son necesarias para la prevención de estos incidentes. La predicción del momento en que sucederá algún desastre natural es imposible en muchos casos. Un ejemplo sobre un medio continuo es el mar, donde si el terreno es alterado por un movimiento, este produciría un desequilibrio de las partículas pudiendo originar un tsunami [Sch16]. De esta forma, generando una simulación físicamente realista se puede prevenir el impacto de diferentes tipos de desastres naturales tanto en costas como en interior. Otro ejemplo de simulaciones es la captura realista del proceso de combustión de árboles individuales y la propagación resultante de incendios a escala de bosques [HBP\*21]. Este método tiene como objetivo ayudar en la predicción del impacto producido en el medio ambiente por incendios forestales.

Debido a problemas encontrados en simulaciones visuales de la naturaleza, el estudio de procesos como por ejemplo la erosión hidráulica [KBKS09,BTHB06] o el movimiento de los árboles movidos por el viento [PNH\*14] actualmente se encuentran en continua mejora.

Material Point Method (MPM) es una técnica numérica usada para simular el comportamiento de sólidos, líquidos, gases y cualquier otro material continuo (Figura 1). Este método fue propuesto originalmente como una extensión de un método simi-

lar conocido como FLIP (una extensión adicional de un método llamado PIC, particle-in-cell) dedicado a la dinámica de sólidos [BBS00, SSC\*13a]. Método basado en dinámica de partículas donde el material se representa como una colección de puntos, las deformaciones producidas son determinadas por las leyes de movimiento de Newton.



**Figure 1:** Funcionamiento del algoritmo MPM: (A) Representación de puntos materiales donde las flechas son los vectores de puntos materiales proyectados a los nodos de la malla. (B) Se resuelven las ecuaciones de movimiento en los nodos. (C) Interpolación. (D) Actualización del estado de los puntos del material. [KSK\*19]

Este trabajo está basado en el método MPM explicado en la Figura 1, una implementación en lenguaje C++ y OpenGL fue el principal objetivo en su principio, sin embargo, se han encontrado soluciones software de animación 3D con la implementación del método MPM, algunos de estos son Houdini o Autodesk Maya, siendo este último la mejor opción encontrada debido a la facilidad y a la calidad de las representaciones que permite generar [Dan20, SSC\*13b].

Con esta solución se provee de una herramienta para que expertos de otras disciplinas sin previo conocimiento, puedan generar simulaciones físicamente plausibles en un entorno real.

### 3. Desarrollo

La implementación del prototipo presentado en este trabajo se ha realizado haciendo uso de Bifrost, una extensión del software Autodesk Maya. Este marco de desarrollo ya consolidado en el sector proporciona un nuevo entorno de programación visual, así como, soluciones para la simulación de objetos deformables basada en la física [NB16]. Este trabajo se divide en cuatro fases principales: (1) estudio de los materiales, (2) programación del grafo, (3) diseño de la interfaz y (4) renderizado. En las siguientes secciones se describen cada una de ellas.

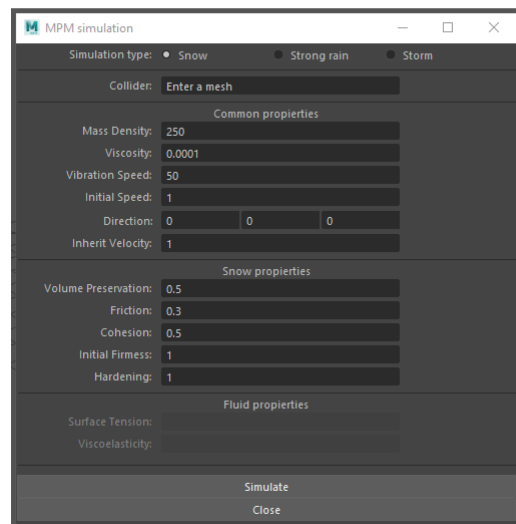
#### 3.1. Materiales

En lo referente a los materiales utilizados para caracterizar cada simulación, se ha utilizado el material nieve y el agua. Ambos

han sido creados en su totalidad a través del HyperShade incluido en Maya. Debemos tener en cuenta las propiedades de las partículas extraídas de la simulación y almacenadas en caché como se ha especificado en la sección anterior. Entre las propiedades más relevantes cabe destacar la temperatura, la niebla ocasionada en la colisión de las partículas y el volumen.

#### 3.2. Diseño de la interfaz

Uno de los objetivos de este trabajo es proporcionar a expertos de otras áreas de conocimiento, sin experiencia en informática gráfica, una herramienta para la simulación de fenómenos naturales. Por esta razón se ha desarrollado una interfaz (Figura 3) amigable de tal forma que se pueda configurar la simulación mediante el uso de parámetros generales como la velocidad del viento, el volumen, virulencia del fenómeno, etc. Del mismo modo, se posibilita la selección de distintos fenómenos subyacentes a la animación principal como la lluvia, tormenta o nevada. En función de la configuración elegida por el experto, se crea de forma automática un grafo adaptado a cualquier entorno creado con anterioridad.



**Figure 3:** Interfaz del prototipo en el que se configura la simulación atendiendo a parámetros generales y específicos.

#### 3.3. Programación del grafo

La programación de grafos en Bifrost permite crear simulaciones físicamente precisas con un alto nivel de detalle en un único entorno de programación visual. En la Figura 2 se muestra uno de los grafos que se ha desarrollado para la simulación de una avalancha de nieve en el prototipo presentado. En él se introducen un conjunto de nodos y sus correspondientes relaciones entre ellos para definir por ejemplo, distintos tipos de materiales y su comportamiento en el medio. Los nodos nombrados como *collider* se encuentran asociados previamente a dos objetos. Estos serán el terreno y una torre localizada en el escenario. Ambos modelos obstaculizarán el desprendimiento de la nieve por la ladera.

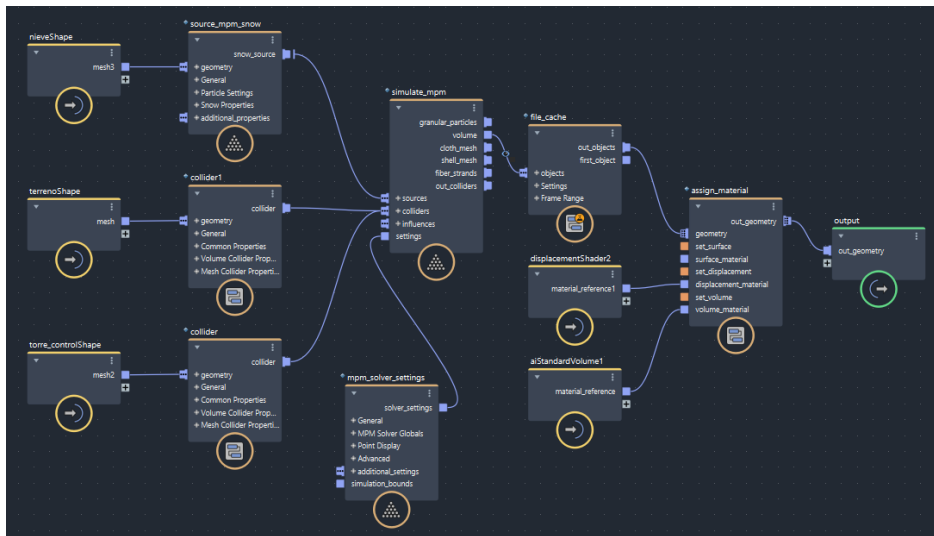


Figure 2: Grafo de programación realizado para la simulación física de una avalancha de nieve en Bifrost.

Este trabajo pone el foco en la simulación física de sólidos deformables teniendo como referencia el algoritmo MPM, ya mencionado. Este algoritmo se incluye en el grafo mediante los nodos *simulate\_mpm* y *mpm\_solver\_settings* en el que se configuran características específicas de la animación tales como la granularidad de las partículas, su volumen entre otras restricciones geométricas. De este modo, se calcula según el tipo de material y la escena en la que realizará la simulación la serie de posiciones de cada una de las partículas del sólido deformable, en este caso la nieve definida por el nodo *source\_mpm\_snow*. Este cálculo es realizado para cada *frame* según el método representado en la Figura 1.

Una de las características del prototipo desarrollado es el almacenamiento en caché del resultado de la animación. Para ello, con el nodo *file\_cache*, la activación del modo *Write Mode* y añadiendo las distintas propiedades que se quieren extraer en la simulación como son, *voxel\_fog\_density*, *voxel\_mass\_density* y *voxel\_velocity*, se podrá almacenar la información necesaria de las posiciones y direcciones de las partículas en cada *frame*. De esta forma, se facilita el acceso a cualquier lote de la escena, no siendo necesario volver a recalcular la posición de las partículas en cada momento, puesto que estas ya estarían registradas y listas para ser utilizadas en el proceso de renderizado. Para garantizar su lectura de forma automática, una vez se tiene almacenada la simulación en caché, se alterna al modo *Read Mode*, así se recuperarán de memoria las posiciones de las partículas en cada *frame*.

### 3.4. Renderizado

En cuanto al renderizado de las simulaciones 3D creadas se ha optado por el motor de render Arnold [Jen01]. Arnold soporta el renderizado de partículas además de una integración óptima del escenario, las cámaras y las luces. Este motor gráfico proporciona render altamente realistas basado en el trazado de rayos Monte Carlo. En comparación con otros motores de renderizado como el propuesto por defecto en Maya, este nos permite obtener unos re-

sultados de alta calidad de una manera eficiente. Sin embargo, para la producción de estas simulaciones, Arnold solamente permite una renderización por CPU. Esto es debido a que la renderización de volúmenes Bifrost, como es el caso de este trabajo, no es soportada por el momento en GPU.

## 4. Resultados

En esta sección se presentan el material resultante de las dos simulaciones sobre las que ponemos el foco en este trabajo: (1) avalancha de nieve y (2) inundación en ciudades. La máquina utilizada para tanto el cálculo de la simulación como para el posterior renderizado tiene las siguientes especificaciones hardware: Intel Xeon Silver 4210R CPU (x2), 176 GB RAM y NVIDIA GeForce 2080Ti.

Uno de los resultados obtenidos y puesto como ejemplo durante este trabajo ha sido la simulación de una avalancha de nieve sobre un entorno natural (Figura 4A). En cuanto a los tiempos obtenidos, la simulación consta de 300 *frames*, y para cada uno (1440 x 810), se requieren 20 minutos para de cálculo de simulación y 2.5 minutos de renderizado. Se ha elegido este tipo de desastre natural debido al impacto producido en áreas montañosas próximos a extensos volúmenes de nieve.

Por otra parte, se ha realizado otra simulación para visualizar el comportamiento y el alcance del agua originado por el impacto de un gran volumen contra edificios (Figura 4B). Este fenómeno puede ser ocasionado por un tsunami, originando grandes olas en una zona de costa o incluso por el desbordamiento de un río tras una intensa lluvia torrencial. Esta simulación esta formada por 200 *frames*, y para cada uno (1440 x 810), se requieren de 4 minutos para el cálculo de la simulación y 3 minutos para el renderizado. En este caso, al utilizar un entorno más simple, desde el punto de vista geométrico, en comparación con el ejemplo anterior, el tiempo de cálculo para estimar la posición de las partículas en cada *frame* se reduce significativamente.

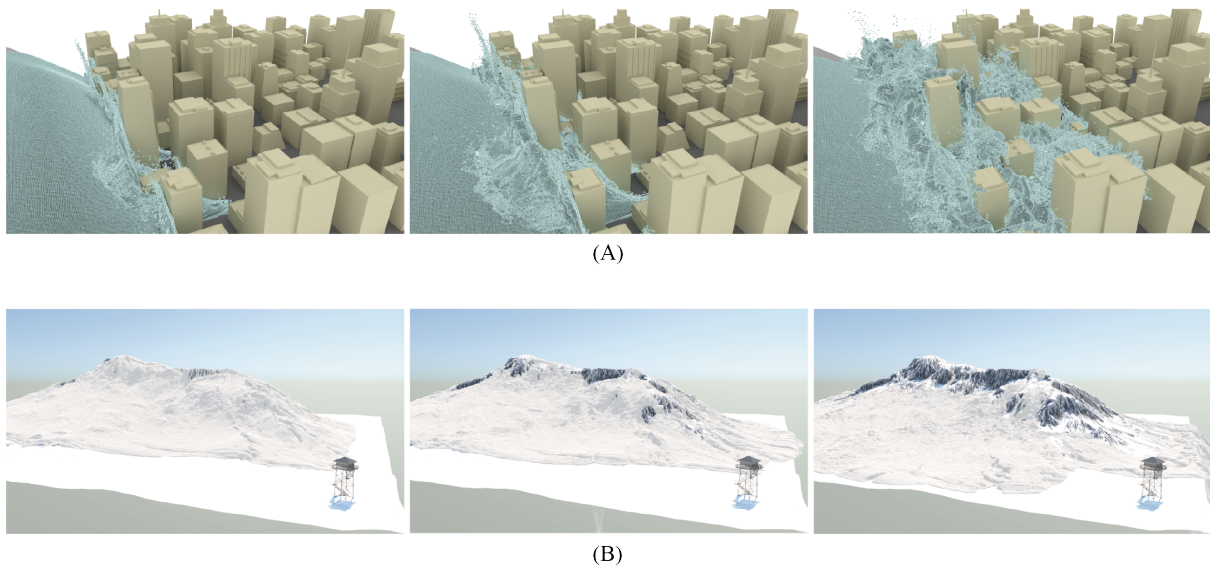


Figure 4: Simulaciones propuestas: (A) Inundación en una zona costera y (B) avalancha de nieve.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se ha desarrollado una herramienta para la generación de simulaciones físicamente realistas de sólidos deformables relativas a fenómenos naturales. Esta herramienta se ha enfocado para uso por expertos de otras áreas de conocimiento distintas a la informática gráfica, posibilitando el estudio de dos fenómenos naturales: avalancha de nieve e inundación. Las simulaciones presentadas logran un alto grado de realismo tanto a nivel de visualización como de comportamiento físico. Esta herramienta supone una innovación para el apoyo al análisis y toma de decisión en la mejora, prevención o preparación de un desastre natural. Las simulaciones expuestas han tenido en cuenta una serie de restricciones físicas en la simulación, colisión entre partículas en un medio continuo y propiedades concretas en función del tipo de material (agua o nieve). Gracias a la generación de este tipo de simulaciones se podrán identificar aquellas zonas de mayor riesgo con el fin de protegerlas y evitar la construcción de nuevas edificaciones en sitios expuestos a ser destrozados o quedar aislados.

Como trabajo futuro se plantea el uso de materiales heterogéneos y combinación de ellos lo que posibilitaría la realización de simulaciones más complejas, así como, considerar el arrastre de todo tipo de fragmentos encontrados en el terreno. Del mismo modo, se trabajará en el diseño de nuevos escenarios y en la experimentación visual ayudándonos de expertos en la materia.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente apoyado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través del proyecto de investigación TIN2017-84968-R.

## References

[BBS00] BARDENHAGEN S., BRACKBILL J., SULSKY D.: The material-point method for granular materials. *Computer Methods in*

*Applied Mechanics and Engineering* 187, 3 (2000), 529–541. doi:10.1016/S0045-7825(99)00338-2. 2

[BTHB06] BENEŠ B., TĚŠÍNSKÝ V., HORNYŠ J., BHATIA S. K.: Hydraulic erosion. *Computer Animation and Virtual Worlds* 17, 2 (2006), 99–108. doi:10.1002/cav.77. 1

[Dan20] DANCE H.: Material point method solver in houdini. 2

[HBP\*21] HÄDRICH T., BANUTI D. T., PALUBICKI W., PIRK S., MICHEL D. L.: Fire in Paradise: Mesoscale Simulation of Wildfires. *ACM Transaction on Graphics* 40, 4 (2021). Place: New York, NY, USA Publisher: ACM. doi:10.1145/3450626.3459954. 1

[Jen01] JENSEN H. W.: *Realistic image synthesis using photon mapping*, vol. 364. Ak Peters Natick, 2001. 3

[KBKS09] KRISTOF P., BENES B., KRIVANEK J., STAVA O.: Hydraulic erosion using smoothed particle hydrodynamics. *Computer Graphics Forum* 28, 2 (2009), 219–228. doi:10.1111/j.1467-8659.2009.01361.x. 1

[KSK\*19] KUMAR K., SALMOND J., KULARATHNA S., WILKES C., TJUNG E., BISCONTIN G., SOGA K.: Scalable and modular material point method for large-scale simulations, 2019. arXiv:1909.13380. 2

[NB16] NIELSEN M. B., BRIDSON R.: Spatially adaptive flip fluid simulations in bifrost. In *ACM SIGGRAPH 2016 Talks* (New York, NY, USA, 2016), SIGGRAPH '16, Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2897839.2927399. 2

[PJH16] PHARR M., JAKOB W., HUMPHREYS G.: *Physically based rendering: From theory to implementation*. Morgan Kaufmann, 2016. 1

[PNH\*14] PIRK S., NIESE T., HÄDRICH T., BENES B., DEUSSEN O.: Windy trees: Computing stress response for developmental tree models. *ACM Trans. Graph.* 33, 6 (Nov. 2014). doi:10.1145/2661229.2661252. 1

[Sch16] SCHULTZ K. W.: *Physics-Based Simulations of Natural Hazards*. University of California, Davis, 2016. 1

[SSC\*13a] STOMAKHIN A., SCHROEDER C., CHAI L., TERAN J., SELLE A.: A material point method for snow simulation. *ACM Trans. Graph.* 32, 4 (July 2013). doi:10.1145/2461912.2461948. 2

[SSC\*13b] STOMAKHIN A., SCHROEDER C., CHAI L., TERAN J., SELLE A.: A material point method for snow simulation. *ACM Trans. Graph.* 32, 4 (July 2013). doi:10.1145/2461912.2461948. 2