

# Nuevas herramientas de simulación 3D: Implementación de P3D Next en proyectos de simuladores 3D en CITEDEF

Emiliano Lucero, Martín Calla, Gabriela Numma, Leonardo López Oroño, and  
Graciela Defeo

Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, Argentina  
{elucero,mcalla,gnumma,llopezorono,gdefeo}@citedef.gob.ar  
<https://www.argentina.gob.ar/defensa/citedef>

**Resumen** Esta comunicación presenta los proyectos en curso y a futuro de la división Computación Gráfica de CITEDEF, en el marco del desarrollo de una nueva plataforma para simuladores 3D basada en el motor de videojuegos Godot. El proyecto principal es P3D Next, una innovadora capa de servicios que utiliza las capacidades de Godot para el desarrollo de simuladores 3D standalone y distribuidos. Otro proyecto clave es SIMOA III ARA, una nueva versión del Simulador de Observador Adelantado de artillería para la Armada Argentina, que se beneficia de las funcionalidades de P3D Next. Asimismo, se detalla el desarrollo de un visualizador de simulación de trayectoria de vectores que utiliza P3D Next para ofrecer precisión y realismo en la representación gráfica. Estos proyectos reflejan un avance significativo en la creación de herramientas flexibles y robustas para diversas aplicaciones en el ámbito de la simulación 3D, con un enfoque en la innovación tecnológica.

**Keywords:** Computación gráfica, simulación.

## 1. Introducción

La División de Computación Gráfica del Departamento de Sistemas de Guiado y Simulación del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa desarrolla simuladores de entrenamiento para las Fuerzas Armadas desde hace más de dos décadas.

Entre ellos se encuentra la línea de simuladores SIMOA, Simulador de Observador Adelantado[1], creados con el propósito de entrenar y evaluar a los alumnos en la aplicación y práctica de la doctrina de Observador Adelantado de la Artillería del Ejército Argentino.

Tanto la línea SIMOA como otros simuladores hechos se construyeron utilizando como base un middleware de desarrollo propio denominado Plataforma de Desarrollos 3D Distribuidos (P3D)[2] que provee servicios de visualización 3D utilizando DirectX11, de comunicación distribuida y de entrada/salida simple. Fue utilizada por última vez en la versión más reciente del SIMOA entregada al Ejército Argentino.

Debido a los requerimientos solicitados para las próximas versiones del SIMOA y de otros simuladores, se evaluó que P3D es insuficiente para cumplirlos, ya que son necesarias capacidades gráficas que no tiene disponibles y a que el tiempo y esfuerzo necesarios para implementarlos son demasiado altos. Entre estos requerimientos se encuentran la visualización de sombras dinámicas, generación y dibujo de efectos de humo y explosiones realistas, soporte para modelos 3D más detallados, etc.

Por lo tanto se decidió crear una nueva versión del middleware P3D sobre el motor de videojuegos de código abierto Godot[3] para poder aprovechar todas las capacidades gráficas y multimedia que provee, las cuales exceden lo solicitado por los requerimientos. Esta versión se utilizará en el siguiente simulador de la línea SIMOA y en nuestros proyectos futuros.

## 2. P3D Next

P3D Next[4] es el reemplazo del middleware P3D para el desarrollo de nuevos simuladores. Mantendrá las capacidades logradas previamente de P3D, incorporando nuevas implementadas por nosotros usando Godot.

Entre las capacidades de P3D que sea desea conservar, se destacan la creación y visualización de entornos 3D realistas y de interfaces de usuario 2D simples, la posibilidad de que estos entornos se distribuyan entre varios nodos (ya sea de forma cliente-servidor o peer-to-peer) para lograr consistencia visual entre distintas computadoras, el sistema de manejo de ventanas que permite la visualización utilizando una o más ventanas y desde uno o más puntos de vista, con la posibilidad de procesar eventos de entrada/salida por cada una.

Entre las capacidades nuevas provistas por Godot que nos serán de gran utilidad podemos mencionar:

- Nivel de detalle a nivel mallado 3D
- Nivel de detalle a nivel objetos

- Generación de sombras dinámicas utilizando la técnica PSSM (Parallel-Split Shadow Maps)
- Sistemas de partículas computadas por el CPU y/o por el GPU.
- Sistema de sonido 3D espacial.
- Sistema de efectos volumétricos
- Sistema unificado de shaders
- Soporte multiplataforma (Windows, Linux, Android, etc.)

Sobre estas capacidades de base, se desarrollarán nuevas funcionalidades:

- Generación de terrenos 3D con nivel de detalle en base a mapas de alturas
- Sistema de efectos atmosféricos
- Sistema de efectos climáticos
- Sistemas de efectos de partículas dinámicos para explosiones y humo

## 2.1. Generación de terrenos 3D

A partir de datos de modelos digitales de elevación (MDE) provistos por el Instituto Geográfico Nacional[5], junto con edición manual, obtenemos mapas de alturas de lugares de la vida real que nos interesan. Mediante técnicas de visualización de terrenos los utilizamos para representar en forma 3D el relieve. Además se utiliza la técnica de Geometry Clipmaps[6] para que el mallado generado modifique su nivel de detalle proporcionalmente a la distancia al punto de observación actual: mientras más cerca está un punto del terreno mayor detalle va a tener. Esto permite reducir la cantidad de geometría procesada por cuadro y mejorar la performance.

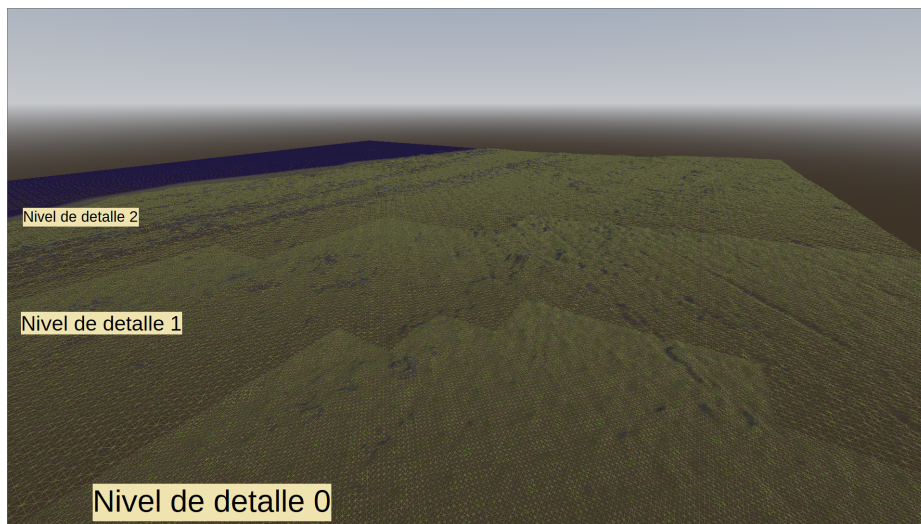


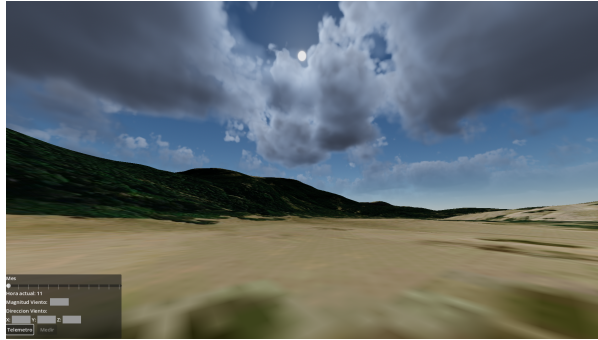
Figura 1: Terreno con niveles de detalle

## 2.2. Sistema de efectos atmosféricos

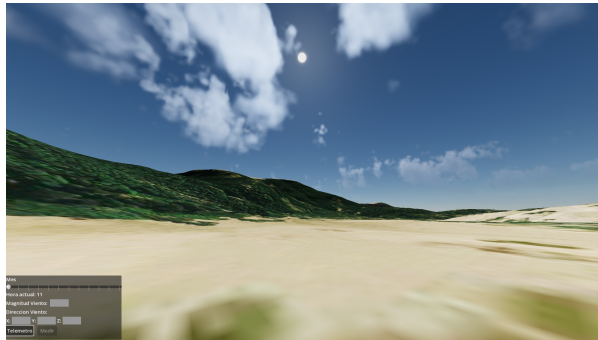
Es un sistema que se encarga de la visualización realista del cielo respecto a la presencia de nubosidad, la iluminación provista por el sol y la luna, y el posicionamiento correcto de estos dos respecto de la ubicación en el mundo y de la fecha simulada.

La luz del sol y la luna se consideran luces direccionales cuya orientación se modifica de forma dinámica según la ubicación en el mundo del terreno simulado y de la fecha considerada, mediante código nuestro escrito en GDScript.

Gráficamente, Godot provee la opción de implementar efectos atmosféricos mediante shaders de varios tipos. Para la visualización del cielo en sí, ofrece la opción de implementarlos mediante "sky shaders"; estos shaders se usan particularmente para dibujar los fondos con cielo y para actualizar los cubemaps de radiancia que se utilizan para simular el efecto de la iluminación del cielo sobre los objetos. Junto a esto, se dibujan nubes realistas utilizando técnicas de ray-marching y simulación de aerosoles mediante shaders de cómputo personalizados. Además, modifica la intensidad de las luces involucradas según la cobertura por nubes y el momento del día.



(a)



(b)

Figura 2: Visualización del Sol y nubes



### 2.3. Sistema de efectos climáticos

Es un sistema que permite habilitar y deshabilitar de forma dinámica efectos climáticos tales como niebla, lluvia o nieve, con distintas intensidades.

El efecto de niebla se implementa usando las opciones provistas por Godot, modificando sus parámetros según la situación lo demande.

Los efectos de lluvia y nieve se implementan en dos partes. La primera con un emisor de partículas centrado en la cámara activa que genera gotas de lluvias o copos de nieve de diversas intensidades y afectadas por la dirección y magnitud del viento. A partir de cierta distancia a la cámara se dejan de generar esas partículas, por lo que solo se ve afectada la zona cercana. De ahí la necesidad de la segunda parte, que consiste en modificar la visibilidad del resto del mundo que se encuentra fuera del emisor de partículas. Para esto, se implementa un sistema dinámico que modifica los valores de las luces según la condición climática para simular el oscurecimiento del ambiente y agregar una niebla de profundidad para simular la disminución de visibilidad.

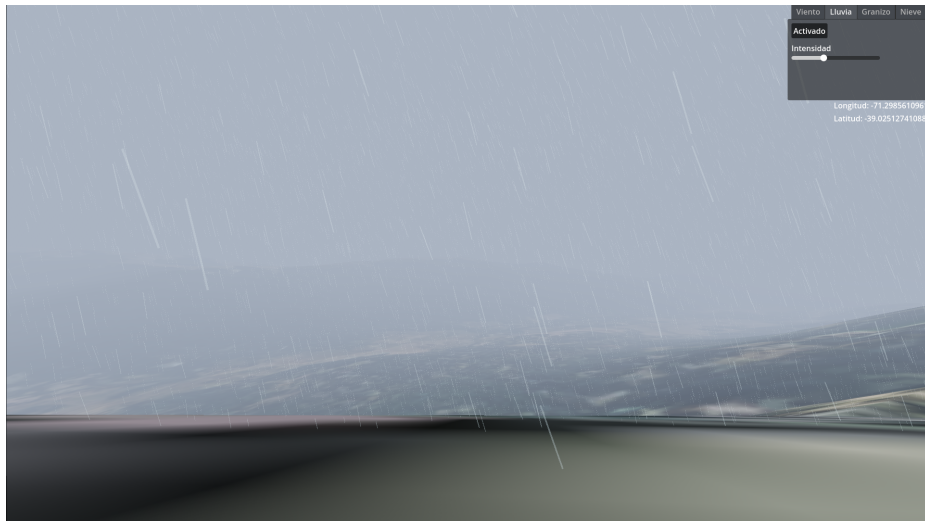


Figura 3: Efecto de lluvia cerca de la cámara, con niebla de fondo

### 2.4. Sistemas de efectos de humo y explosiones

Es un sistema para generar y emitir efectos de humo y explosiones sobre escenarios que permite alterar en tiempo real, por ejemplo, la dirección en la que se mueven. Utiliza los sistemas de partículas provistos por Godot más nuestras modificaciones para simplificar la creación de estos efectos específicos.

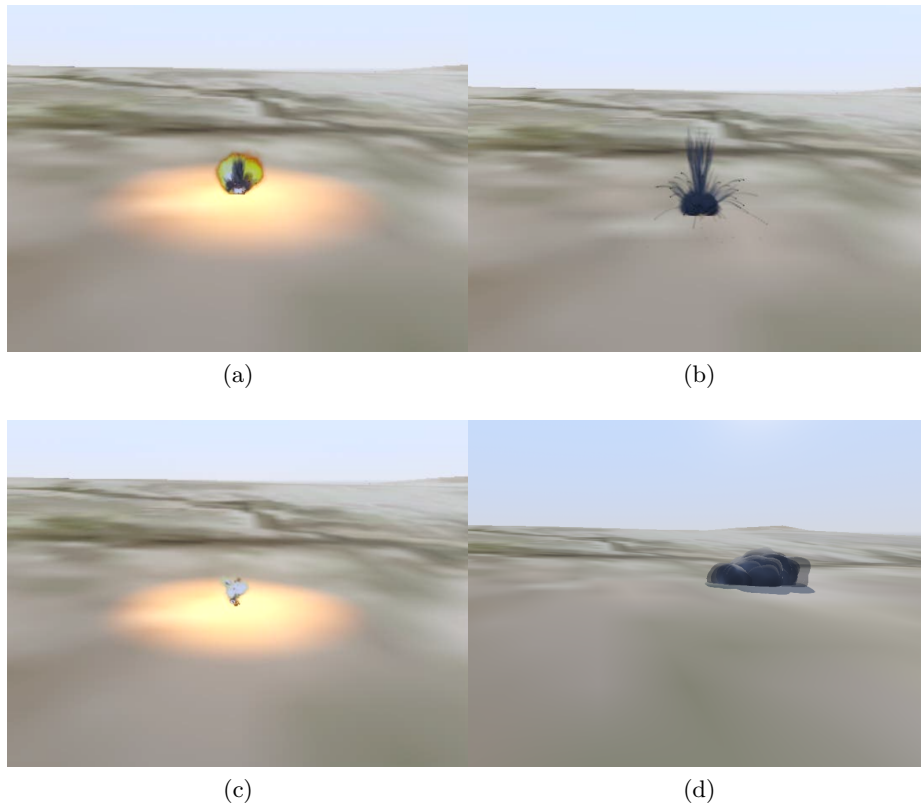


Figura 4: Explosiones y humo

En la figura anterior se presentan algunas de las explosiones realizables en este momento: las figuras a y b muestran la combinación entre emisión de partículas, sprites animados y luces para representar una explosión, mientras que la figura c únicamente con emisores de partículas. Por último, en la figura d se representa humo volumétrico mediante un generador de partículas.

### 3. SIMOA III ARA

El Simulador de Observador Adelantado es un sistema cuyo objetivo es el entrenamiento de los observadores adelantados en los distintos procedimientos de observación y adquisición de blancos, en el marco de las llamadas misiones de fuego.

El SIMOA se apoya en dos puntos fundamentales:

- La doctrina de artillería a implementar: si bien no hay grandes diferencias, cada fuerza tiene rasgos distintivos

- Los escenarios: la necesidad de recrear campos de tiro realistas para la realización de los ejercicios

Este simulador fue originalmente requerido por el Ejército Argentino (EA), contando con una primera versión en 2001. En la actualidad, el SIMOA ha alcanzado su tercera versión con una arquitectura actualizada y mejoras en funcionalidad y estabilidad.

En los últimos años, el sistema ha despertado el interés de la Armada Argentina (ARA). Fruto de esto fue la instalación del SIMOA en la Base Naval Puerto Belgrano (BNPB), con el fin de contribuir al entrenamiento de la Infantería de Marina (IM).

Entre los requerimientos principales para esta versión, se hizo hincapié en:

- Humo asociado a explosiones, buscando que se comporte de forma realista, y se vea influenciado por diversos factores climáticos como ser el viento
- Fenómenos climáticos, como el viento, lluvia y niebla, pudiendo visualizar su efecto sobre distintos elementos de la escena, como ser vegetación, instalaciones y humo
- Reproducción de sonido realista

Estos requerimientos pueden ser cubiertos al implementarlos sobre la P3D Next, logrando el realismo requerido con el sistema de efectos de humo y explosiones mencionado anteriormente. El sistema de efectos atmosféricos soluciona la visualización de fenómenos climáticos asociada al entorno. Por su parte, cómo se ven afectados distintos objetos como la vegetación y el humo se implementa con una variedad de shaders y recursos personalizados, y parametrización correcta del sistema de efectos de humo. En cuanto a la reproducción de sonidos realista, se satisface utilizando los servicios de sonido 3D provistos por Godot más una aplicación de filtros de sonidos dinámico.

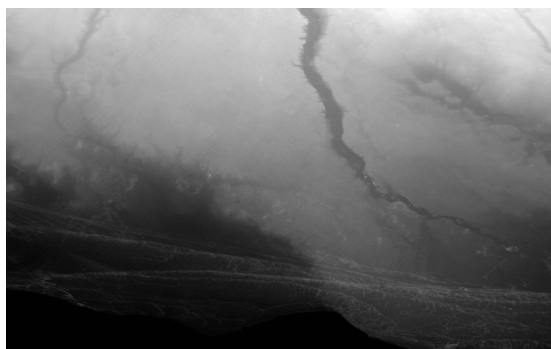


Figura 5: Mapa de alturas correspondiente al campo de tiro Baterías

#### 4. Visualizador Vectores

El FCTDS DualSpin es un proyecto de la división de Vectores de nuestro Departamento que involucra actividades interdisciplinarias.

Nuestra participación surgió a partir del requerimiento de poder visualizar de forma realista la trayectoria simulada de un vector (cohetes CP-30) creado por la división, de forma tal que se observen efectos de combustión realista y de evolución del entorno atmosférico circundante.

Luego de analizar el requerimiento, se determinó que los servicios provistos por P3D Next son suficientes para realizarlo; los efectos de combustión utilizarán el sistema de partículas modificado de P3D Next mientras que el entorno atmosférico, utilizará el sistema de día y noche junto con nubes en combinación con un "sky shader" modificado para los momentos en los que se encuentre fuera de la atmósfera.

El cálculo del movimiento se determinará en base a la información de telemetría de la simulación de vuelo del vector, utilizando interpolación de ser necesario, mientras que el movimiento dentro de la visualización se implementará utilizando el servicio de trayectorias de P3D Next.

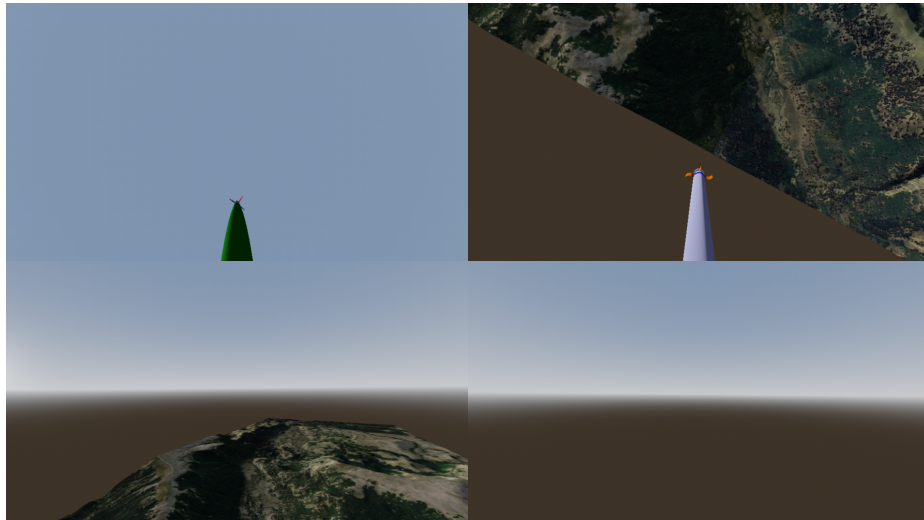


Figura 6: Vector virtual en el escenario

#### 5. Conclusión

Los proyectos desarrollados por CITEDEF demuestran la capacidad de la institución para abordar desafíos complejos e innovadores en diversas áreas. El uso de plataformas como P3D Next permite crear simulaciones realistas y atractivas, mientras que el desarrollo de sistemas como SIMOA III ARA y el visualizador

de vectores muestra la capacidad de CITEDEF para adaptarse a las necesidades específicas de diferentes áreas, incluyendo el entrenamiento militar y la investigación científica. En general, estos proyectos reflejan la misión del CITEDEF de desarrollar soluciones que apoyen el progreso científico y tecnológico en Argentina.

## Referencias

1. Galán, M. V., Luiso, J. E., Guaycochea, L. E., y Abbate, H. A. (2018). Simulador para Observador Adelantado SIMOA. En XII Simposio de Informática en el Estado (SIE 2018)-JAIIO 47 (CABA, 2018).
2. Guaycochea, L. E., Luiso, J. E., Galán, M. V., y Abbate, H. A. (2016). Plataforma de desarrollos 3D Distribuidos (P3D). En X Simposio de Informática en el Estado (SIE 2016)-JAIIO 45 (Tres de Febrero, 2016).
3. Godot Game Engine, <https://godotengine.org/>
4. Acquesta, A., Lucero, E., Numma, G., Defeo, G., Risotri, P., y Galán, M. V. (2023). Plataforma 3D Distribuida–Nueva Extensión Tecnológica (P3D NEXT). En Simposio de Informática en el Estado (SIE 2023)-JAIIO 52 (Universidad Nacional de Tres de Febrero, 4 al 8 de septiembre de 2023).
5. IGN - MDE-Ar, <https://www.ign.gob.ar/category/tem%C3%A1tica/geodesia/mde-ar>
6. Frank Losasso and Hugues Hoppe. 2004. Geometry clipmaps: terrain rendering using nested regular grids. ACM Trans. Graph. 23, 3 (August 2004), 769–776. <https://doi.org/10.1145/1015706.1015799>