



TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Desarrollo de una aplicación de modelado 3D

Motor de renderizado en tiempo real basada en SDFs

Autor

Pablo Cantudo Gómez

Directores

Juan Carlos Torres Cantero y Luis López Escudero



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Granada, Septiembre de 2025

Desarrollo software de una aplicación de modelado 3D basada en Signed Distance Functions (SDF)

Pablo Cantudo Gómez

Palabras clave: WebGPU, C++, ray marching, motor de renderizado, funciones de distancia con signo (SDF)

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de Copper, un motor de renderizado 3D en tiempo real implementado en C++ utilizando la API WebGPU a través de Dawn. El motor emplea técnicas de ray marching sobre funciones de distancia con signo (SDF), lo que permite una representación eficiente y flexible de geometría tridimensional. Una de las principales ventajas de utilizar SDF es la capacidad de expresar de forma directa y compacta operaciones booleanas entre primitivas geométricas —como uniones, intersecciones o diferencias— mediante simples expresiones algebraicas. Además, a diferencia de los métodos tradicionales basados en mallas o polígonos, las SDF permiten aplicar operaciones booleanas suaves, como la unión con suavizado (smooth union), de forma prácticamente trivial desde el punto de vista computacional.

Este enfoque simplifica notablemente la construcción de formas complejas, evitando problemas típicos de la computación geométrica como el manejo de vértices, normales o topologías complejas. También se facilita la animación y transformación de objetos mediante funciones continuas. El motor incluye un sistema de sombreado en WGSL, con soporte para sombras suaves, operaciones modulares sobre la escena, selección de objetos, carga y guardado de modelos. Los resultados demuestran que el uso de SDF no solo ofrece un modelo más elegante para definir geometría, sino que permite construir escenas visualmente complejas con menos código y una mayor expresividad gráfica. En conjunto, el sistema demuestra la viabilidad técnica y creativa del uso de SDF en entornos modernos.

Los contenidos incluidos en la memoria son:

- 1.
- 2.
- 3.

Development of a 3D modeling application based on Signed Distance Functions/Fields (SDF)

Pablo Cantudo Gomez

Keywords: WebGPU, C++, ray marching, rendering engine, Signed Distance Functions/Fields (SDF)

Abstract

This work presents the development of Copper, a real-time 3D rendering engine implemented in C++ using the WebGPU API through Dawn. The engine employs ray marching techniques over Signed Distance Functions/Fields (SDF), enabling an efficient and flexible representation of three-dimensional geometry. One of the main advantages of using SDF is the ability to directly and compactly express Boolean operations between geometric primitives — such as unions, intersections, or differences— through simple algebraic expressions. Furthermore, unlike traditional mesh- or polygon-based methods, SDF allows for smooth Boolean operations, such as smooth union, in a virtually trivial manner from a computational standpoint.

This approach greatly simplifies the construction of complex shapes, avoiding typical problems in geometric computing such as handling vertices, normals, or complex topologies. It also facilitates the animation and transformation of objects through continuous functions. The engine includes a shading system in WGSL, with support for soft shadows, modular scene operations, object selection, and model loading and saving. The results show that the use of SDF not only offers a more elegant model for defining geometry, but also enables the creation of visually complex scenes with less code and greater graphical expressiveness. Overall, the system demonstrates the technical and creative feasibility of using SDF in modern environments.

The contents included in this document are as follows:

- 1.
- 2.
- 3.

Yo, **Pablo Cantudo Gómez**, alumno de la titulación Grado en ingeniería informática de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 78243264, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Pablo Cantudo Gómez

Granada a x de Septiembre de 2025.

D. **Tutores**, Profesores del Área de x del Departamento x de la Universidad de Granada.

Informan:

Que el presente trabajo, titulado ***Nombre***, ha sido realizado bajo su supervisión por **Tutores**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 11 de Noviembre de 2023.

Los directores:

Tutores

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido directa o indirectamente a la realización de este trabajo. En primer lugar, a mi tutor Juan Carlos Torres Cantero y cotutor Luis López Escudero por la ayuda durante el desarrollo y la corrección del proyecto, a mis amigos por las discusiones y las ideas, y a mi familia por su apoyo incondicional.

Finalmente, me gustaría mencionar a la comunidad de desarrolladores y recursos abiertos, especialmente los foros, artículos y proyectos relacionados con WebGPU, SDF y ray marching, cuya documentación y ejemplos han sido una fuente de aprendizaje invaluable.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 19 |
| 1.1. Motivación | 19 |
| 1.2. Descripción del problema | 19 |
| 1.3. Objetivos | 19 |
| Bibliografía | 19 |
| Glosario | 19 |

Índice de figuras

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

1.2. Descripción del problema

1.3. Objetivos

- 1.

Glosario

Nombre definicion definicion.

