

**Creación de Material Educativo Digital para la Construcción y Visualización de un Modelo  
Geoestadístico 3D del Vshale Mediante Herramientas de Código Abierto**

Juan David Basto Picott

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Director

Juan Diego Colegial Gutiérrez

Doctor en Ciencias Geológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2026

**Dedicatoria**

*“Los geólogos son viajeros del tiempo atrapados en el presente”*

Dedicado a Mariluz Picott y Jairo Basto Triana.

**Tabla de Contenido**

Glosario..... 6

Resumen..... 8

Abstract..... 9

Introducción ..... 10

1. Objetivos..... 12

    1.1 Objetivo General..... 12

    1.2 Objetivos Específicos..... 12

2. Cuerpo del Trabajo ..... 13

    2.1 Marco Referencial..... 13

        2.1.1 Marco Geológico de los Datos Utilizados: Subcuenca Caswell..... 13

        2.1.2 Enfoque Pedagógico y Diseño Instruccional del OVA..... 14

        2.1.3 Método ..... 15

            2.1.3.1 Secuencia Didáctica..... 15

            2.1.3.2 Estrategias de Evaluación..... 16

            2.1.3.3 Desarrollo del OVA y Flujo Computacional..... 17

        2.1.4 Resultados ..... 21

            2.1.4.1 Discusión..... 22

3. Conclusiones..... 24

4. Recomendaciones ..... 25

Referencias Bibliográficas ..... 26

**Lista de Tablas**

<i>Ficha técnica de scripts de tratamiento de datos.</i> .....	17
<i>Ficha técnica de scripts de visualización de datos 2D.</i> .....	18
<i>Ficha técnica de scripts de visualización de datos en 3D.</i> .....	19
<i>Ficha técnica de scripts de interpolación de datos en 3D.</i> .....	20

**Lista de Figuras**

<i>Localización geográfica de la Subcuenca Caswell (Cuenca de Browse).....</i>	13
<i>Columna estratigráfica generalizada del intervalo de estudio.....</i>	14
<i>Ejemplo de ejecución del script de ingesta de datos .....</i>	18
<i>Perfil vertical de Vshale obtenido tras aplicar la ecuación de Larionov.....</i>	18
<i>Visualización 3D de la segmentación litológica de los pozos .....</i>	20
<i>Modelo geoestadístico 3D interactivo del Vshale con cortes e isosuperficies .....</i>	21

### **Lista de Apéndices**

*Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional.*

Apéndice A. Acceso a la serie del Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA).

Apéndice B. Repositorio y material audiovisual del OVA.

Apéndice C. Manual técnico de usuario del OVA.

## Glosario

**Anisotropía:** propiedad direccional de un medio físico que produce respuestas distintas según la dirección de medición; en geoestadística sedimentaria, expresa que la continuidad lateral de las capas es mayor que la vertical.

**Blocking:** técnica de segmentación litológica que agrupa intervalos consecutivos del registro de pozo en bloques homogéneos, reduciendo el ruido de alta frecuencia y resaltando las capas estratigráficas reales.

**IDW (Inverse Distance Weighting):** método de interpolación espacial determinístico que estima el valor de un punto desconocido como un promedio ponderado de los valores conocidos, asignando mayor peso a las muestras más cercanas.

**OVA (Objeto Virtual de Aprendizaje):** recurso educativo digital, autocontenido y reutilizable, diseñado para apoyar procesos de aprendizaje en un entorno virtual.

**Registro de pozo (well log):** conjunto de medidas geofísicas continuas tomadas a lo largo de la perforación de un pozo, que caracterizan propiedades físicas y litológicas de las formaciones atravesadas.

**Vshale (Volumen de arcilla):** parámetro petrofísico que estima la fracción volumétrica de minerales arcillosos presentes en una formación, calculado a partir del registro de Rayos Gamma.

## Resumen

**Título:** Creación de Material Educativo Digital para la Construcción y Visualización de un Modelo Geoestadístico 3D del Vshale Mediante Herramientas de Código Abierto\*.

**Autor:** Juan David Basto Picott\*\*.

**Palabras Clave:** Modelado geoestadístico 3D, Vshale, registros de pozo, ecuación de Larionov, interpolación IDW, código abierto, Objeto Virtual de Aprendizaje, Subcuenca Caswell.

**Descripción:** Este trabajo presenta el desarrollo integral de un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) diseñado para la enseñanza del modelado geológico 3D, el cual integra una serie de videos educativos narrados por un presentador digital, un repositorio de código abierto y un manual técnico detallado para la ejecución de scripts. El proyecto aborda la limitación de acceso a software comercial en entornos académicos mediante la implementación de un flujo de trabajo computacional 100% open source, basado en bibliotecas de Python como Pandas y PyVista. Los datos utilizados son públicos de la Subcuenca Caswell (Cuenca de Browse, Australia); se documenta el manejo de registros geofísicos, el cálculo petrofísico del Volumen de Arcilla (Vshale) empleando la ecuación de Larionov para formaciones terciarias y una etapa crítica de segmentación litológica (blocking) que agrupa intervalos homogéneos y reduce el ruido de alta frecuencia en los perfiles petrofísicos. La metodología culmina con la construcción de un modelo geoestadístico tridimensional mediante interpolación IDW con un factor de anisotropía controlado (0.05) con el objetivo de simular la geometría estratigráfica natural, forzando al algoritmo a priorizar la continuidad lateral sobre la vertical y evitando así artefactos visuales irreales. El resultado es una herramienta de visualización interactiva que permite el análisis dinámico de cortes e isosuperficies, facilitando el acceso a técnicas avanzadas de caracterización de reservorios y fomentando la replicabilidad científica en la academia.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas – Escuela de Geología – Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez.

### Abstract

**Title:** Creation of Digital Educational Material for the Construction and Visualization of a 3D Geostatistical Vshale Model Using Open-Source Tools\*.

**Author:** Juan David Basto Picott\*\*.

**Key Words:** 3D geostatistical modeling, Vshale, well logs, Larionov equation, IDW interpolation, open source, Virtual Learning Object, Caswell Sub-basin.

**Description:** This work presents the comprehensive development of a Virtual Learning Object (VLO) designed for teaching 3D geological modeling, integrating a series of educational videos narrated by a digital presenter, an open-source code repository, and a detailed technical manual for script execution. The project addresses the limited access to commercial software in academic settings through the implementation of a fully open-source computational workflow based on Python libraries such as Pandas and PyVista. The dataset consists of publicly available well log records from the Caswell Sub-basin (Browse Basin, Australia); the workflow documents the handling of geophysical logs, the petrophysical calculation of Shale Volume (Vshale) using the Larionov equation for Tertiary (younger) formations, and a critical lithological segmentation stage (blocking) that groups homogeneous intervals and reduces high-frequency noise in petrophysical profiles. The methodology culminates in the construction of a three-dimensional geostatistical model through Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation with a controlled anisotropy factor (0.05), specifically intended to simulate natural stratigraphic geometry by forcing the algorithm to prioritize lateral continuity over vertical continuity, thereby avoiding unrealistic visual artifacts. The result is an interactive visualization tool that enables dynamic analysis of slices and isosurfaces, providing accessible advanced reservoir characterization techniques and promoting scientific reproducibility in academia.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering – School of Geology – Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez.

## Introducción

La caracterización tridimensional del subsuelo constituye una de las competencias más demandadas en la formación contemporánea de geocientíficos e ingenieros de petróleo. No obstante, la enseñanza de modelado geoestadístico en programas de pregrado se enfrenta a una barrera estructural: la dependencia histórica de plataformas de software comercial cerrado (caja negra), cuyo costo de licenciamiento y opacidad algorítmica restringen el acceso, limitan la comprensión profunda de los métodos numéricos y dificultan la replicabilidad de los resultados en entornos académicos.

Este trabajo aborda dicha problemática mediante el diseño y la construcción de un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) que integra un flujo de modelado geoestadístico 3D del Volumen de Arcilla (Vshale) implementado en su totalidad con herramientas de código abierto basadas en Python (Pandas, NumPy, PyVista). El propósito central es ofrecer a estudiantes y profesores de geociencias un recurso autocontenido, transparente y reutilizable que reúna en un solo paquete: una serie de videos narrados por un presentador digital, un repositorio de código documentado y un manual técnico de ejecución paso a paso.

Desde el punto de vista pedagógico, la propuesta se fundamenta en el paradigma constructivista (Jonassen, 1991), bajo el cual el aprendizaje se consolida cuando el estudiante interactúa directamente con los datos, ejecuta el código, observa los resultados y ajusta los parámetros. Desde el punto de vista técnico, el enfoque white-box permite trazar el camino completo desde el registro 1D crudo (LAS) hasta el volumen tridimensional interpolado, exponiendo cada decisión metodológica del modelado: limpieza de datos, cálculo petrofísico mediante la ecuación de Larionov para formaciones terciarias, segmentación litológica (blocking) e interpolación IDW con anisotropía controlada.

La pregunta de investigación que guía el trabajo es: ¿cómo diseñar un recurso educativo digital de código abierto que permita a estudiantes de geociencias construir, visualizar e interpretar un modelo geoestadístico 3D del Vshale sin depender de software comercial? Para responderla, se desarrolla un flujo computacional completo aplicado a datos públicos de la Subcuenca Caswell (Cuenca de Browse, Australia), se documenta cada etapa en fichas técnicas reproducibles y se acompaña con material audiovisual.

La justificación del proyecto se sustenta en tres aportes: (a) reduce la barrera de entrada a la programación geocientífica al ofrecer un esqueleto (framework) modular y documentado; (b) democratiza el acceso a técnicas avanzadas de caracterización de reservorios al eliminar la dependencia de software propietario; y (c) promueve la replicabilidad científica al publicar todos los scripts bajo licencia abierta. El OVA explícitamente posiciona su contribución en el área formativa y educacional, sirviendo como herramienta de laboratorio virtual para asignaturas de Geología, Geoestadística y Modelado de Yacimientos.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Desarrollar un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) que integre un modelo geoestadístico tridimensional del registro Vshale, construido mediante scripts públicos en Python, para fortalecer las competencias de modelado y caracterización de reservorios en estudiantes de geociencias e ingeniería de petróleos.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Estandarizar un set de datos de registros de pozo públicos mediante rutinas de preprocesamiento en Python, garantizando la calidad de los datos de entrada para el modelado.
- Calcular el registro Vshale (aplicable a otras características petrofísicas) implementando la ecuación de Larionov para formaciones terciarias, comparando los resultados con el registro Gamma Ray.
- Construir una representación espacial 3D mediante interpolación IDW con control de anisotropía para visualizar la continuidad lateral de los cuerpos sedimentarios.
- Diseñar una estrategia pedagógica audiovisual que documente paso a paso el flujo de trabajo computacional, facilitando la replicabilidad del estudio por parte de la comunidad académica.

## 2. Cuerpo del Trabajo

### 2.1 Marco Referencial

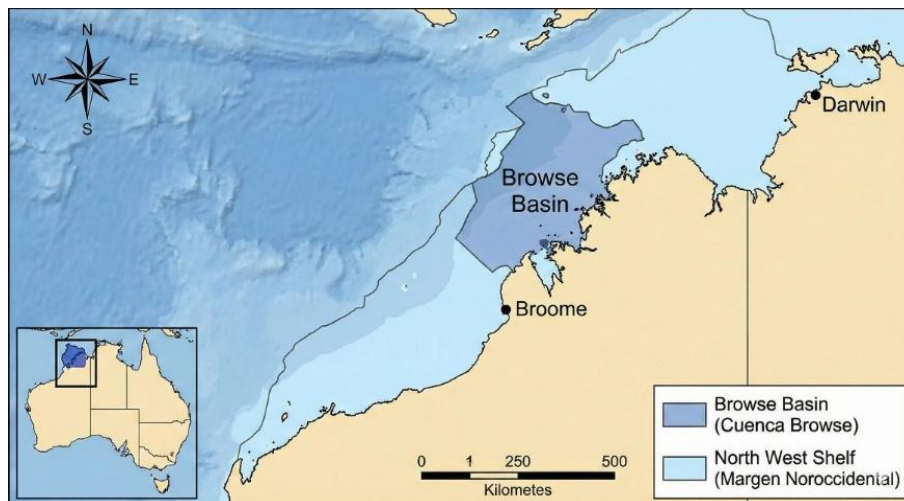
#### 2.1.1 Marco Geológico de los Datos Utilizados: Subcuenca Caswell

El campo Caswell se ubica en la Cuenca de Browse, en el margen noroccidental de Australia, como se observa en la Figura 1. El modelo se enfoca en el intervalo Cretácico–Terciario, específicamente entre las formaciones Jamieson (sello marino regional) y Barracouta (carbonatos transicionales). La Figura 2 muestra la columna estratigráfica generalizada del intervalo de estudio.

Los datos para este estudio corresponden a registros de pozo (well logs) de dominio público, descargados del National Offshore Petroleum Information Management System (NOPIMS) del gobierno de Australia. El set de datos incluye curvas de Gamma Ray, Resistividad y Sónico de cuatro pozos exploratorios del campo Caswell.

#### Figura 1

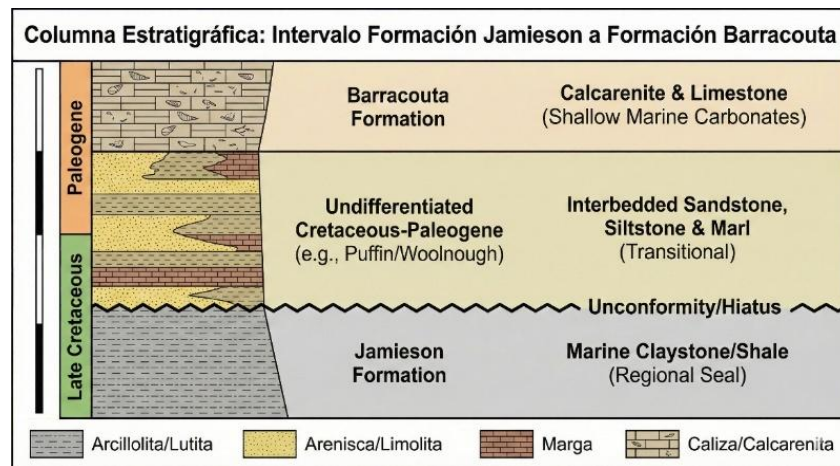
*Localización geográfica de la Subcuenca Caswell (Cuenca de Browse)*



*Nota.* Elaboración propia a partir de datos de NOPIMS (2025).

**Figura 2**

*Columna estratigráfica generalizada del intervalo de estudio*



*Nota.* Elaboración propia basada en la nomenclatura estratigráfica oficial de la cuenca.

### **2.1.2 Enfoque Pedagógico y Diseño Instruccional del OVA**

El Objeto Virtual de Aprendizaje desarrollado se fundamenta en el paradigma pedagógico del constructivismo. Dicho enfoque sostiene que el conocimiento no es una entidad pasiva que se transfiere, sino que es construido activamente por el estudiante a través de la experiencia y la resolución de problemas (Jonassen, 1991). Al ubicarse en el área de las geociencias, específicamente en la geoestadística y la modelización del subsuelo, la comprensión de conceptos espaciales abstractos requiere un andamiaje didáctico. El constructivismo permite que el estudiante interactúe de primera mano con los datos (registros de pozo, curvas de Vshale y segmentación litológica), transformando la teoría en práctica a través del uso de herramientas de código abierto.

El diseño instruccional adoptado busca guiar al usuario desde la comprensión inicial de los datos de entrada hasta la construcción de un modelo geológico 3D robusto. Este diseño no impone un camino estrictamente rígido, sino que facilita un entorno donde el usuario toma decisiones, analiza los resultados computacionales y ajusta sus parámetros, fomentando así el desarrollo de competencias formativas en interpretación geológica e interpolación espacial.

### **2.1.3 Método**

La metodología del trabajo se estructura en tres componentes complementarios: la secuencia didáctica que orienta el aprendizaje del usuario, las estrategias de evaluación formativa y sumativa, y el flujo computacional implementado en cuatro fichas técnicas modulares.

#### **2.1.3.1 Secuencia Didáctica.**

El desarrollo de las actividades a través del OVA se estructura en tres momentos pedagógicos claramente definidos (Inicio, Desarrollo y Cierre), buscando un aprendizaje progresivo.

Fase de Inicio (Diagnóstica y de Contextualización) — Área de conocimiento: Geología Aplicada y Geoestadística. El usuario explora el OVA y reconoce el objetivo final de aprendizaje. En esta etapa, comprende qué tipos de datos geológicos tiene a disposición (por ejemplo, procedencia de registros de NOPIMS) y la importancia del parámetro a calcular (Vshale) para no generar distorsiones geológicas como el efecto de ojos de buey. Material audiovisual de apoyo: Video 1, “Introducción a registros de pozo y contexto geológico de la Subcuenca Caswell”.

Fase de Desarrollo (Ejecución y Formativa) — Área de conocimiento: Procesamiento de Datos Petrofísicos y Programación Geocientífica. Es el núcleo interactivo del OVA. A través del manual procedimental, el estudiante sigue el flujo computacional (ingesta de datos, cálculo petrofísico, segmentación litológica – blocking, e interpolación 3D). Material audiovisual de apoyo: Videos 2, 3 y 4 de la serie OVA, donde se aborda cada módulo. Logro formativo esperado: el estudiante ejecuta el flujo completo y genera su propio modelo geoestadístico interpretando los resultados con criterio geológico.

Fase de Cierre (Retroalimentación y Sumativa) — Área de conocimiento: Modelado Geoestadístico 3D e Interpretación Espacial. Consiste en la visualización integrada del modelo

geoestadístico 3D. El estudiante contrasta el modelo resultante con los conceptos teóricos iniciales, logrando una retroalimentación visual directa. Esto consolida las habilidades de toma de decisiones frente a la distribución espacial del Vshale. Material audiovisual de apoyo: Video 5, “Visualización 3D e interpretación geológica del modelo”. Logro formativo esperado: el estudiante elabora una interpretación final y la valida cualitativamente contra el modelo geológico conceptual de la cuenca.

### **2.1.3.2 Estrategias de Evaluación.**

El modelo de evaluación propuesto para el OVA no recae en cuestionarios tradicionales, sino en la evaluación del proceso y el resultado interactivo (evaluación formativa y sumativa de base práctica).

La evaluación formativa se desarrolla progresivamente a medida que el usuario avanza por los cuadernos de código abierto. El sistema y la visualización de los datos devuelven errores (feedback) inmediatos si el código de ingesta o las variables petrofísicas fueron ingresadas erróneamente.

La rúbrica de tiempos y avances esperados se distribuye así: la Fase de Inicio comprende una sesión de dos horas, en la que el estudiante completa la exploración del repositorio y del manual; el avance esperado es la descarga de datos y la configuración del entorno. La Fase de Desarrollo comprende tres a cuatro sesiones de seis a ocho horas en total, durante las cuales el estudiante ejecuta las Fichas 1 a 4 del flujo computacional; el avance esperado es la obtención del modelo 3D con datos propios. La Fase de Cierre comprende una sesión de dos horas, en la que el estudiante genera la visualización final e interpreta los resultados; el avance esperado es un informe breve de interpretación geológica del modelo.

La evaluación sumativa (indicadores de logro) se mide mediante productos observables: el usuario entiende la vinculación entre los registros 1D y el volumen 3D, y el usuario elabora modelos del subsuelo coherentes estratigráficamente y logra segmentar facies (arenas y arcillas) utilizando el lenguaje de programación.

**2.1.3.3 Desarrollo del OVA y Flujo Computacional.**

En el presente apartado se aborda el núcleo operativo del Objeto Virtual de Aprendizaje. Se describe secuencialmente el proceso técnico implementado en los scripts que el estudiante deberá ejecutar. El flujo abarca desde la preparación de datos crudos hasta la visualización tridimensional del modelo geológico y se muestra en cuatro fichas modulares. Para revisar el detalle instructivo, los comandos línea a línea y las capturas de pantalla de la interfaz, el lector debe remitirse al Manual de Usuario del OVA (Apéndice B).

**Ficha 1: Ingesta y Conversión de Datos (registros de pozo descargados de NOPIMS).**

<b>Clasificación</b>	Nombre del módulo: las_to_csv_Integrated.py
<b>Tipo</b>	Preprocesamiento. Función principal: convertir registros físicos (.LAS) a datos manejables (.CSV).
<b>Librerías</b>	lasio, pandas.
<b>Descripción</b>	El script lee archivos estándar de la industria (.LAS), detecta automáticamente curvas de profundidad (DEPT) y coordenadas (X, Y). Permite además su corrección manual para garantizar la georreferenciación.
<b>Propiedades clave</b>	Manejo de valores nulos (-999.25). Estandarización de nombres de curvas.

*Tabla 1. Ficha técnica de scripts de tratamiento de datos.*

**Figura 3**

*Ejemplo de ejecución del script de ingesta de datos*

```
Usage: python las_to_csv_Integrated.py <ruta_las>
```

*Nota.* Elaboración propia.

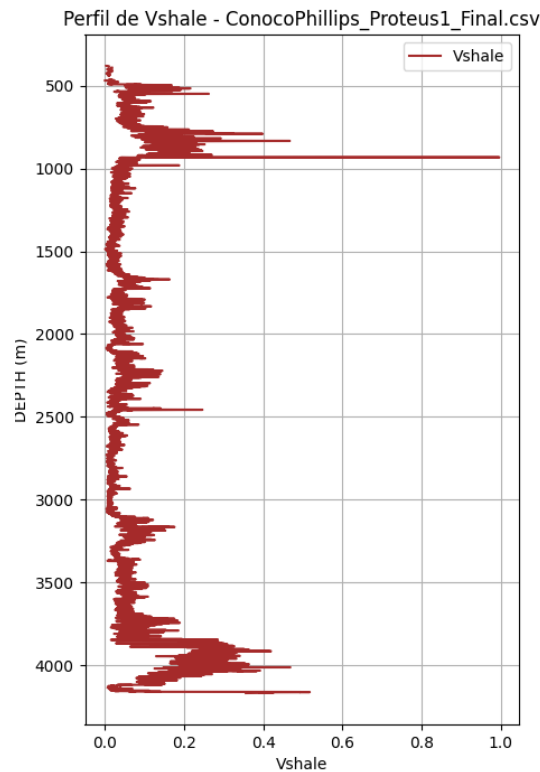
**Ficha 2: Cálculo Petrofísico (Vshale).**

<b>Clasificación</b>	Nombre del módulo: normalizacion_vshale.py
<b>Tipo</b>	Procesamiento. Algoritmo: ecuación de Larionov (Terciario/rocas modernas).
<b>Librerías</b>	numpy, matplotlib.
<b>Descripción</b>	Calcula el Índice de Rayos Gamma, aplica la corrección no lineal de Larionov y genera perfiles verticales (.png) para control de calidad visual.
<b>Propiedades clave</b>	Normalización Min-Max del Gamma Ray. Identificación de zonas arcillosas (sello) versus arenas (reservorio).

*Tabla 2. Ficha técnica de scripts de visualización de datos 2D.*

**Figura 4**

*Perfil vertical de Vshale obtenido tras aplicar la ecuación de Larionov*



Nota. Elaboración propia.

**Ficha 3: Segmentación Litológica (Blocking).**

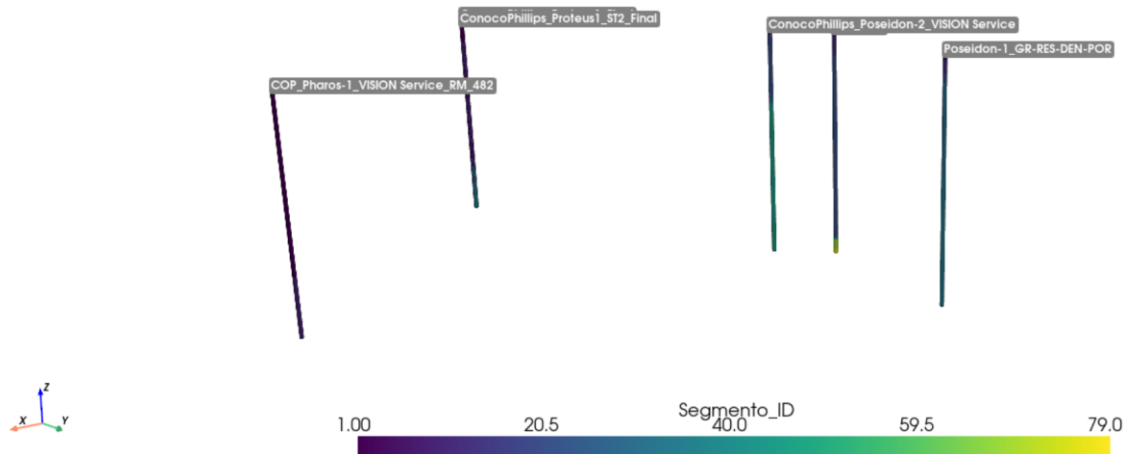
<b>Clasificación</b>	Nombre del módulo: segmentacion.py
<b>Tipo</b>	Geoestadística. Función principal: upscaling (reducción de escala).
<b>Parámetros</b>	Window = 5; Umbral = 0.05.
<b>Descripción</b>	Paso crítico para evitar modelos ruidosos. Agrupa miles de lecturas en bloques geológicos homogéneos (Segmento_ID) basándose en cambios bruscos del Vshale. Reduce el ruido eléctrico y resalta las capas estratigráficas reales.
<b>Propiedades clave</b>	Reducción de datos (de miles a cientos). Preservación de contrastes litológicos.

Tabla 3. Ficha técnica de scripts de visualización de datos en 3D.

**Figura 5**

*Visualización 3D de la segmentación litológica de los pozos*

### Segmentación de Pozos (Nube de Puntos 3D con Etiquetas)



*Nota.* Elaboración propia.

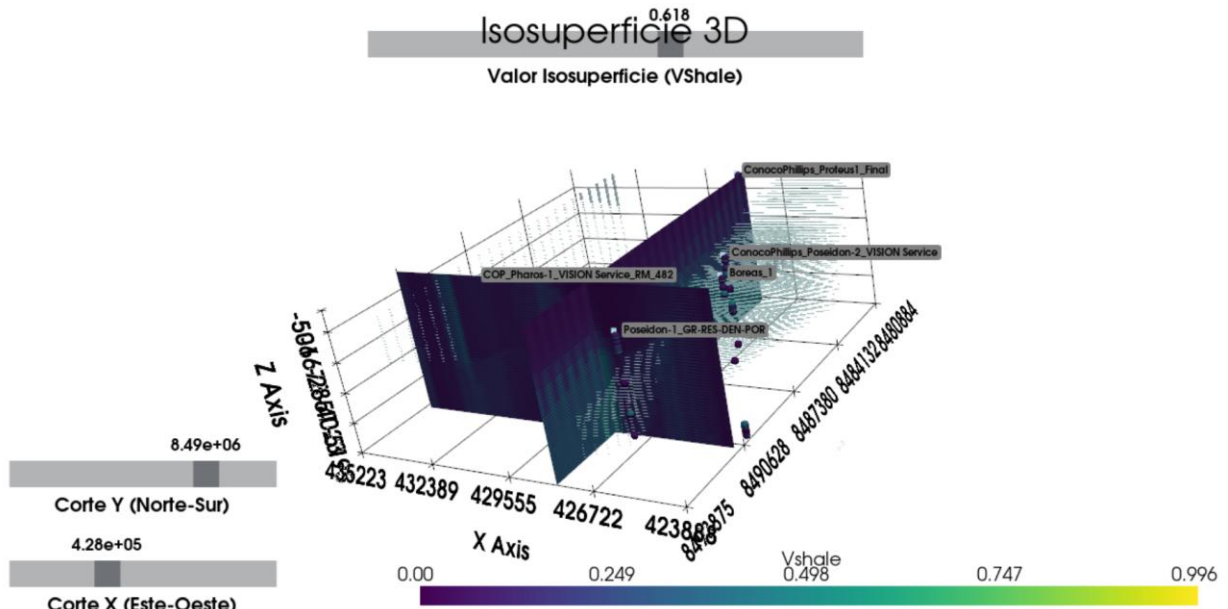
#### **Ficha 4: Interpolación y Visualización 3D.**

<b>Clasificación</b>	Nombre del módulo: interpolacion_3d_with_wells.py
<b>Tipo</b>	Modelado. Algoritmo: IDW anisotrópico (Inverse Distance Weighting).
<b>Librerías</b>	pyvista, scipy.
<b>Descripción</b>	Genera una malla estructurada (StructuredGrid) y rellena los espacios vacíos entre pozos. Aplica un factor de anisotropía (0.05 en Z) para forzar al algoritmo a buscar continuidad lateral, imitando la estratificación natural de una cuenca sedimentaria.
<b>Propiedades clave</b>	Visualización interactiva con PyVista. Sliders para cortes (slicing) e isosuperficies. Renderizado de volumen translúcido.

*Tabla 4. Ficha técnica de scripts de interpolación de datos en 3D.*

**Figura 6**

*Modelo geoestadístico 3D interactivo del Vshale con cortes e isosuperficies*



*Nota.* Elaboración propia.

**2.1.4 Resultados**

El producto principal de este trabajo es un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) diseñado para desarrollar competencias específicas en el estudiante. Al finalizar el módulo, el usuario logra comprender el flujo de datos desde la adquisición (LAS) hasta el modelado; evaluar la diferencia entre un modelo matemático (Vshale) y un dato físico (Gamma Ray); y operar herramientas de código abierto para la visualización de los registros e identificación básica de tendencias litológicas. Estas acciones se traducen en el desarrollo de competencias específicas de análisis e interpretación en el ámbito de la caracterización petrofísica y modelado geoestadístico del subsuelo.

El componente central del proyecto es la serie de videos alojada en YouTube (Apéndice A), narrada por un presentador digital, que guía al estudiante paso a paso mostrando la lógica del

código y las imágenes de los productos esperados. La serie se compone de siete piezas: “Introducción al Proyecto y al Concepto de Vshale” (3:39); “Procesamiento y normalización de archivos .LAS” (2:19); “Cálculo del Vshale utilizando la Ecuación de Larionov” (1:46); “Segmentación Litológica por Umbral” (2:11); “Construcción de la Malla Estructurada y Aplicación de Interpolación IDW” (2:11); “Visualización 3D con PyVista” (2:16); y “Conclusiones y Aplicaciones del Modelo” (1:50). El tiempo estimado de trabajo del estudiante por video oscila entre 20 y 90 minutos según la complejidad del módulo.

Más allá del componente audiovisual, la interacción con los módulos del OVA produce los siguientes resultados de aprendizaje observables: el usuario asimila la importancia de la depuración de datos crudos (registros LAS); elabora modelos del subsuelo estratigráficamente coherentes y toma decisiones frente a anomalías espaciales como el efecto de ojos de buey; y aplica herramientas de código abierto como medio de modelización técnica sin depender de licencias de software comerciales cerradas.

#### **2.1.4.1 Discusión.**

La verdadera métrica de éxito de este trabajo recae en las competencias que desarrolla el estudiante al utilizar la herramienta, más que en el modelo computacional como objeto aislado. Para acompañar el proceso formativo y asegurar que el estudiante desarrolle no solo competencias estadísticas sino criterio geológico, se proponen las siguientes preguntas-guía durante y después del uso del OVA: ¿los cuerpos de alta arcillosidad ( $V_{shale} > 0.65$ ) son geológicamente coherentes con los sellos regionales de la cuenca (Formación Jamieson) y su profundidad según los registros?; ¿el modelo 3D muestra continuidad lateral de las arenas, o existen discontinuidades que requieran ajuste del parámetro de anisotropía u otro parámetro?; ¿en qué pozo se observa la mayor

heterogeneidad litológica?; ¿se observa alguna correlación entre pozos?; ¿cómo se interpreta un bajo registro de Vshale en rocas carbonatadas?

El despliegue de este OVA soporta la premisa de que la educación en Geología no debe estar supeditada únicamente a entornos teóricos o a software de caja negra. El aporte académico recae en transparentar el flujo de cálculo (white-box), permitiendo observar matemáticamente cómo el registro 1D se expande a un volumen 3D. Pedagógicamente, el material acorta la curva de aprendizaje en programación aplicada a las geociencias y presenta un esqueleto (framework) listo para que estudiantes y profesores puedan implementarlo como apoyo y laboratorio virtual en asignaturas como Geoestadística, Modelamiento de Yacimientos y Petrofísica.

### 3. Conclusiones

Se estructuró y documentó un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) cuyas componentes —flujo computacional, manual de usuario y serie audiovisual— cumplen con los objetivos instruccionales declarados. Aunque la validación empírica con grupos de estudiantes queda como trabajo futuro, el diseño instruccional constructivista adoptado provee un marco robusto que facilita, teóricamente, la adquisición de competencias en modelado espacial del subsuelo.

La integración de estas herramientas técnicas con estrategias pedagógicas digitales —específicamente el uso de avatares virtuales y plataformas de difusión masiva como YouTube— estableció un canal efectivo para la transferencia de conocimiento. Esta estrategia evidencia que la barrera de entrada a la programación geocientífica disminuye significativamente cuando se presenta mediante recursos visuales inmersivos y tutoriales guiados.

La elaboración manual y secuencial del volumen de Vshale permitió comprobar que la exposición progresiva a código documentado funciona como una herramienta didáctica altamente efectiva, ya que cada paso del flujo computacional puede ser auditado, modificado y reutilizado por el estudiante.

La integración de la librería PyVista permitió transformar matrices numéricas abstractas en visualizaciones 3D interactivas y de alta calidad, facilitando la comprensión espacial del subsuelo, una habilidad cognitiva que suele ser difícil de desarrollar en estudiantes a través de medios estáticos.

#### **4. Recomendaciones**

Se recomienda la implementación oficial de este OVA como material complementario o taller práctico dentro del currículo de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS), específicamente en las líneas de geología de yacimientos y geoestadística.

Se sugiere, para futuras iteraciones del material, incorporar módulos adicionales que introduzcan variables como porosidad y permeabilidad, así como realizar pruebas piloto con grupos de estudiantes para cuantificar métricamente el nivel de retención del conocimiento. La extensión natural del trabajo incluye la incorporación de algoritmos geoestadísticos adicionales (kriging ordinario y simulación secuencial gaussiana) que permitan al estudiante comparar el desempeño de distintos métodos de interpolación sobre el mismo conjunto de datos.

### Referencias Bibliográficas

- Asquith, G. B., y Krygowski, D. (2004). *Basic well log analysis* (2.<sup>a</sup> ed.). American Association of Petroleum Geologists.
- Bradshaw, J., Yeates, A., y Scott, B. (1988). The evolution of the North West Shelf: Perspectives on geology and petroleum potential. *APEA Journal*, 28(1), 30–49.
- Geoscience Australia. (2020). *Browse Basin geology and petroleum systems*. Gobierno de Australia. <https://www.ga.gov.au>
- Hidayat, T. (2012). Bayesian theorem application to model reservoir facies distribution on deltaic depositional environment, case study of Browse Basin. *Nature and Science*, 10(2), 124–141. [http://www.sciencepub.net/nature/ns1002/019\\_8116ns1002\\_124\\_141.pdf](http://www.sciencepub.net/nature/ns1002/019_8116ns1002_124_141.pdf)
- Jessell, M., Ailleres, L., y de Kemp, E. (2014). Next generation three-dimensional geologic modelling and inversion. *Geoscience Canada*, 41(3), 360–365.
- Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research and Development*, 39(3), 5–14.
- Kaus, B. J., Wellmann, J. F., y Thiele, S. T. (2021). The importance of stratigraphic consistency in 3D geological models. *Computers & Geosciences*, 154, 104787. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104787>
- Kennard, J. M., Bradshaw, B. E., y Totterdell, J. M. (2004). Structural framework and basin architecture of the Browse Basin. En *The Sedimentary Basins of Western Australia 3*. Petroleum Exploration Society of Australia.
- Larionov, V. V. (1969). *Radiometry of wells*. Nedra.

National Offshore Petroleum Information Management System (NOPIMS). (2024). *Open File Well and Seismic Data Portal*. Gobierno de Australia Occidental.

<https://nopims.dmp.wa.gov.au/Nopims>

Sullivan, C., y Kaszynski, A. (2019). PyVista: 3D plotting and mesh analysis through a streamlined interface for the Visualization Toolkit (VTK). *Journal of Open Source Software*, 4(37), 1450. <https://doi.org/10.21105/joss.01450>

Totterdell, J. M., y Bradshaw, B. E. (2004). The Browse Basin: A new perspective on hydrocarbon prospectivity. En *The Sedimentary Basins of Western Australia 3*. Petroleum Exploration Society of Australia.

Wellmann, J. F., y Caumon, G. (2018). 3-D structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties. *Advances in Geophysics*, 59, 1–121.

Wilson, G., Aruliah, D. A., Brown, C. T., Chue Hong, N. P., Davis, M., Guy, R. T., Haddock, S. H. D., Huff, K. D., Mitchell, I. M., Plumbley, M. D., Waugh, B., White, E. P., y Wilson, P. (2014). Best practices for scientific computing. *PLoS Biology*, 12(1), e1001745.