

Flujograma para la construcción de perfiles geológicos a través del procesamiento de información geográficamente referenciada de tipo vectorial o ráster mediante software para Sistemas de Información Geográfica (SIG) y software de diseño asistido por computador (DAC).

Flow chart for the construction of geological profiles through the processing of geographically referenced vector or raster information using software for Geographic Information Systems (GIS) and computer aided design software (DAC).

Cetina C. Marien Julieth; Flechas F. Guillermo

Facultad Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
Correo-e: Guillermo.flechas@usantoto.edu.co

Resumen

El siguiente documento contiene el procedimiento de desarrollo de un flujograma sobre la creación de un perfil geológico mediante el uso de QGIS y AutoCAD. Esta construcción se realizó con base en los conocimientos adquiridos en clases de geología, que posteriormente se aplicaron con los estudiantes durante el desarrollo de las monitorias de la asignatura. Además de esto se realizó una revisión bibliográfica de documentos y artículos científicos, con el fin de identificar protocolos de referencia para la construcción del flujograma.

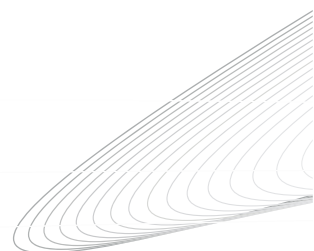
Palabras clave: mapeo geológico, mapa geológico, perfil geológico, sistema de información geográfica, software de diseño asistido por computador.

Abstract:

This document contains the procedure for developing a flow chart on the creation of a geological cross section using QGIS and AutoCAD as tools. This construction was carried out based on the knowledge learned in geology classes, that were subsequently taught to the students during the development of the monitoring sessions. In addition, a bibliographic review of scientific documents and articles was carried out, whose objective was the identification of reference protocols for the flow chart construction.

Keywords: geological cross section, geologic mapping, geographic information system, computer aided design software, geological map

Para citar este artículo: Cetina C, M.J. & Flechas F. G. "Flujograma para la construcción de perfiles geológicos a través del procesamiento de información geográficamente referenciada de tipo vectorial o ráster mediante software para sistemas de información geográfica (SIG) y software de diseño asistido por computador (DAC)." In L'Esprit Ingenieur. Vol. 11-1, p.p 20-32.



1. INTRODUCCIÓN

Un perfil geológico es una representación gráfica vertical con orientación determinada, a través de la cual se obtiene un modelo aproximativo del comportamiento de las estructuras geológicas en el subsuelo; su constitución, estructura interna y las relaciones geométricas entre ellas [13], que contribuyen a la toma de decisiones para labores subterráneas de construcciones tales como vías, casas de máquinas, centros comerciales, estacionamientos, prisiones, aprovechamiento de recursos mineros, etc. De manera análoga [19], menciona que “los geólogos necesitan secciones transversales para encontrar, evaluar y extraer hidrocarburos, minerales, aguas subterráneas y otros recursos; así como para almacenar residuos industriales como el CO₂ y material radioactivo”.

Según [8] “El perfil geológico es la forma más intuitiva y efectiva de expresar información vertical sobre los estratos”. Dentro de sus características se encuentran la optimización de actividades como la construcción de modelos gráficos sobre situaciones reales e interpretación de información representada gráficamente, que conducen a la solución de problemas relacionados con la ingeniería geológica. El perfil geológico facilita el aprendizaje de condiciones geológicas y la distribución espacio - temporal de los distintos cuerpos geológicos y depósitos de minerales. Es de gran utilidad para la orientación de la producción de una mina y durante la prospección geológica de ingeniería [16].

¿De dónde provienen y cómo se recolectan los datos a procesar? Desde el punto de vista de [22], la información para la construcción de perfiles proviene comúnmente de datos de superficie (trabajo de campo, mapas geológicos, fotografías), datos subsuperficiales (registros de pozo, métodos geofísicos) y modelos tridimensionales (o pseudo tridimensionales) (fotogrametría, escaneo láser).

En cuanto a la captura, de acuerdo con [6] “La recolección de datos de campo es asistida y complementada por información derivada de la interpretación de datos de sensores remotos, obtenidos tanto por levantamiento aéreo como por satélites”. La compilación final de esta información da como resultado un mapa geológico, un perfil geológico u otro producto del mismo orden, que en tiempos pasados se presentaba como una copia impresa, pero con el tiempo se han venido adaptando y guardando como archivos de computadora, para permitir el modelado de las estructuras geológicas y su visualización en tres dimensiones.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el perfeccionamiento de las herramientas para el tratamiento de la información. A juicio de [10], “El constante avance que ha venido experimentando el mundo de la informática y las comunicaciones a lo largo de las últimas décadas ha propiciado la automatización de la gran mayoría de los procesos que en momentos anteriores tenían que realizarse manualmente”. Actualmente, la construcción de perfiles geológicos no se rige sólo por la elaboración manual a través del uso herramientas básicas como escuadra o graduador, sino que ha dado paso al modelado 3D, que trajo consigo ciertas ventajas. De acuerdo con [14], el modelado y mapeo geológico tridimensional gana cada vez más popularidad al ser una manera más fácil de entender las técnicas de retratar datos geológicos, toda vez que propende la imaginación de condiciones geológicas en el espacio, valoriza la geología y soporta la comprensión y solución de problemas complejos.

Sin embargo, el modelado actual de todos los problemas ingenieriles se hace con respecto al mapa geológico común y corriente. En relación con lo anterior [16] argumenta que el modelado

de minas está basado en el mapa geológico existente, y que abandonar los métodos tradicionales caracterizados por el proceso que sigue sondeo para recopilar mediciones → mapa geológico de la sección transversal → diseño minero y reemplazarlos por el proceso sondeo para recopilar mediciones → modelos sólidos → diseño minero, no garantizan realismo. Aun así, el modelado 3D es una alternativa que facilita la interpretación de las técnicas para el retrato de datos geológicos. Dicho en palabras de [14] “La interpretación en 3D de la información geológica puede ayudar a imaginar las condiciones geológicas en el espacio, aumentar el interés en la geología y comprender problemas que a menudo son de alta complejidad”.

Tales progresos han desembocado en el desarrollo de sistemas de información geográfica (SIG) y software DAC, que son el instrumento de geoprocesamiento básico. Según [9], un SIG es un “Caso especial de sistemas de información en los que la base de datos consiste en observaciones sobre características, actividades o eventos distribuidos espacialmente, que se definen en el espacio como puntos, líneas o áreas, con el fin de recuperar datos para consultas y análisis específicos”.

Por otra parte, debe hablarse del canal que permite el proceso de la información, para tal caso, el sistema de información geográfica definido por [20] como un “Sistema de información diseñado para manejar datos geográficos, espaciales o geoespaciales para uso espacio - temporal e investigación geográfica”. Una de las características más significativas del SIG, es que los usuarios utilizan la cognición para entender las configuraciones y percepciones espaciales a través de actividades que van desde el mapeo por computadora al análisis espacial y luego a la resolución de problemas geográficos.

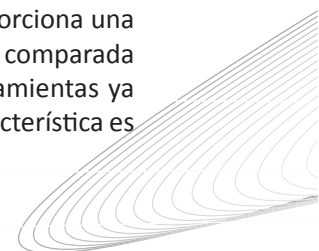
[20] expone también que son 3 los objetivos principales de un SIG: adquirir información geográfica, estudiar geo-objetos y sus relaciones y explorar reglas geográficas

avanzadas, los cuales determinan nuestro comportamiento espaciotemporal.

Ahora bien, un software para SIG o software DAC necesita de herramientas para el tratamiento de datos geográficamente referenciados, siendo la base de estas el geoprocesamiento. Tal como indica [29], el geoprocesamiento “Se considera a menudo como la funcionalidad central de los sistemas de información geográfica que proporciona un mecanismo para encadenar operaciones espaciales sobre datos”. O descrito también por [28] como un “conjunto de conceptos, métodos y técnicas orientado a transformar datos ambientales georreferenciados en información relevante para comprender la gestión de entornos”.

AutoCAD por su parte, es uno de los tantos softwares de diseño asistido por computador (DAC) que poseen un amplio rango de herramientas computacionales que ingenieros, arquitectos y otros profesionales del diseño utilizan en el desarrollo de su trabajo. Según señala [18] “Dichas herramientas se dividen básicamente en programas de dibujo de dos dimensiones (2D) basadas en entidades vectoriales, como puntos y líneas, que se operan a través de una interfaz gráfica y, modeladores en tres dimensiones (3D) cuya función es añadir superficies y sólidos”.

La problemática tratada en este documento sitúa su origen en la casi inexistencia de información producida dentro de la institución que instruya en el proceso de creación de perfiles geológicos como apoyo al proceso de aprendizaje de los estudiantes de la asignatura de Geología de la facultad de Ingeniería de civil de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja. Se evidencia un déficit en el uso de herramientas tecnológicas, que permitan una comprensión más completa de las situaciones analizadas, teniendo en cuenta que el dibujo tradicional a mano de las secciones es complejo y no proporciona una información precisa e inteligible comparada con la obtenida al usar las herramientas ya mencionadas, cuya principal característica es



la construcción de modelos realistas de los problemas a resolver.

El desarrollo de esta propuesta se hace necesario para potenciar la actualización tecnológica en software DAC y software para sistemas de información geográfica en las clases de geología, puesto que es de uso indispensable en el perfeccionamiento del procesamiento de datos para la obtención de resultados de calidad, que soporten de las actividades ingenieriles, que depende también del estudio geológico y aspectos relacionados al mismo, durante las etapas de planeación, diseño, ejecución, operación y mantenimiento.

El propósito de este artículo es dar a conocer un flujograma sobre la creación de un perfil geológico que se desarrollará a través del procesamiento de modelos de tipo ráster y vectorial, empleando el software de diseño asistido por computador AutoCAD y el software para SIG QGIS. El flujograma está dirigido a los estudiantes de geología de la facultad de ingeniería civil, como herramienta de apoyo para el desarrollo y perfeccionamiento de destrezas en la solución de problemas geológicos a través de herramientas tecnológicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo la compilación y organización de secuencia de los procedimientos aprendidos durante las clases de geología, que fueron perfeccionados a través de su aplicación para el desarrollo de monitorias sobre la construcción de perfiles geológicos, dirigidas a los estudiantes de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomás por parte del autor. De igual forma, se realizó una revisión sistemática de documentos y artículos científicos sobre el tema a tratar contenidos principalmente en las bases de datos Engineering Village, Science Direct, EBSCO Host y e-libro, a las cuales la Universidad Santo Tomás tiene suscripción.

Los documentos y artículos científicos que se tomaron como base para la realización del flujograma fueron, Cross-Section Construction and Balancing: Examples From the Spanish Pyrenees por [19], Computerized construction of geological cross sections from digital más por [12], Automatic drawing of the geologic profile of an underground mine based on COMGIS por [16], Tunnels design and geological studies por [30], Cortes geológicos con ordenador por [21] y Managing geological profiles in databases for 3D visualisation por [14].

Los criterios de selección para los documentos fueron: relación con la construcción de perfiles geológicos a partir de información geológicamente referenciada, descargada de bases de datos y procesada en sistemas de información geográfica y software DAC, aplicación para la solución de problemas geológicos, procedimientos para el levantamiento de secciones cruzadas, inclusión de elementos geológicos fundamentales como rumbo y buzamiento, formaciones, fallas, pliegues, curvas de nivel y cuerpos de agua, además de modelamiento geológico en 2D y 3D.

3. RESULTADOS

El siguiente flujograma es el resultado de la compilación y secuenciamiento de procesos para la realización de perfiles geológicos partiendo de la existencia de información geológica e información básica digital georreferenciada ya sea en formato shapefile, gdb o mdb; aprendidos en clase de geología y posteriormente aplicados en monitorias dirigidas a estudiantes de ingeniería civil, complementados por la monitoria a partir de la revisión bibliográfica de documentos y artículos científicos relacionados al tema en discusión.

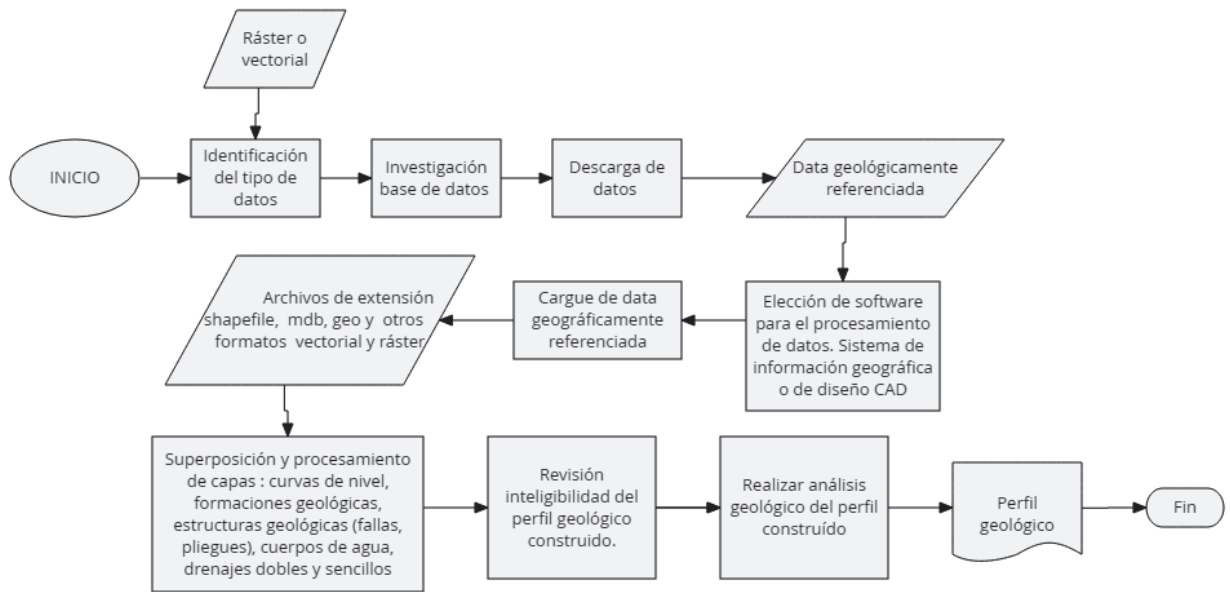


Figura 1. Flujograma para la creación de perfiles geológicos.

Fuente. Autor

1. Discusión

La elaboración de perfiles geológicos es una actividad fundamental en asignaturas con contenidos de Geología para que los estudiantes desarrollen, adquieran y potencien algunas de las competencias propias de la geotecnia. Como se ha argumentado en [21] “A través de este tipo de ejercicio se pueden descubrir cómo se distribuyen en profundidad los distintos materiales y estructuras geológicas que se muestran en un mapa, y cuál ha sido la evolución de una región a lo largo de la historia de la Tierra”. En definitiva, permite a sus usuarios trabajar con las dimensiones espacial y temporal de la Geología.

Ahora bien, en [12] se afirma que “las ventajas de las técnicas computarizadas incluyen la capacidad de realizar cálculos y un dibujo más rápido. Por lo tanto, son útiles para tareas como la interpolación y el dibujo de componentes geométricos bien conocidos, como splines”. Además, para una línea de sección dada, un algoritmo produciría exactamente la misma sección transversal si no hay intervención externa. El procedimiento expuesto en el flujograma hace visible la sencillez de procesamiento de datos a través del uso de herramientas tecnológicas como los SIG y software DAC, que posibilitan el diseño de mapas convencionales 2D, donde se encuentran contenidos los perfiles geológicos, los cuales soportan la solución de problemas ingenieriles facilitando la búsqueda de información correlativa en el perfil, dotando de inteligibilidad los resultados obtenidos.

Tal como señala [19], la utilidad de los mapas geológicos 2D radica en la información que presentan, por ejemplo, las rocas que se encuentran en la superficie o una reproducción a través de secciones transversales del interior de la corteza terrestre, específicamente de la relación entre las diferentes capas de roca en el subsuelo en profundidad. Al ofrecer la posibilidad de ver esto en otra dimensión, permite a los usuarios visualizar mejor el subsuelo en el área objeto, sin la necesidad de instalar ningún software adicional.

Cabe resaltar que la construcción de un perfil geológico en 2D requiere un conocimiento mínimo del tipo de datos que van a procesarse, en orden de enfocar el objetivo del proceso y por ende el resultado que se busca. Así lo expresa [11] “Los datos de los perfiles geológicos no son muy parecidos a los datos comunes, ya que incluyen no sólo la información geográfica de coordenadas, sino también la descripción litológica y las imágenes, que es más profesional”.

Los geólogos caracterizan las estructuras geológicas a través de rasgos distintivos visuales, sin embargo, estas características y patrones en las rocas, no proporcionan por sí solos la totalidad de la información necesaria. En solución a lo anterior [7], proponen que “Es solo mediante la correlación entre los afloramientos y la aplicación de reglas geológicas que las observaciones pueden relacionarse con características geológicas como los planos de falla, las divisiones tectónicas o los horizontes estratigráficos”.

Es importante mencionar que, aunque los avances tecnológicos en materia de software para la captación y procesamiento de información digital proporcionan mayor calidad del producto, esta información no está exenta de errores e imprecisión. Así lo indica [30], al afirmar que todos los tipos de datos geológicos están predispuestos a varias fuentes de incertidumbre, entre ellas: imprecisión y error de medición, se genera incertidumbre en todos los tipos de datos sin procesar que se emplean para el modelado, como la posición de un límite de formación o la orientación de una estructura ; estocasticidad y conocimiento insuficiente y / o impreciso, generalmente es la incertidumbre en la interpolación entre (y extrapolación de) puntos de datos conocidos; conocimiento insuficiente y/o impreciso, insuficiencia del modelo, que alude al conocimiento incompleto e impreciso de la existencia estructural, las ambigüedades conceptuales generales y la necesidad de generalizaciones .

En efecto, son múltiples los beneficios de los perfiles geológicos, sin embargo, es recomendable complementar el aprendizaje a través del uso de técnicas que propicien una interpretación más realista de las situaciones en análisis. De acuerdo con [26], los SIG no solo permiten la óptima gestión de los datos procedentes de distintas fuentes, sino que además lo hacen relacionándolos unos con otros de acuerdo con su localización real, permitiendo generar nuevos datos, análisis e informes (estadísticos, mapas temáticos, etc).

En este punto es preciso citar nuevamente a [14], quien indica que existen varios aspectos de la representación en 3D de los modelos geológicos según el uso de los datos: mapa base, esquemas estratigráficos, geofísica, perfiles sísmicos, inmersión y ataque a nivel nacional, escalas de datos o resoluciones de modelos. Aspectos que son esenciales para el fundamento de bases teóricas hacia la construcción de modelos 3D útiles e inteligibles.

En lo que respecta a los datos usados en este tipo de modelado, [33] sostiene que “Los perfiles geológicos específicos incluyen perfiles de sección transversal, planos de diseño de puntos de exploración y perfiles topográfico - geológicos. Los datos de propiedad de la roca principalmente provienen de experimentos de laboratorio o in situ en muestras de pozos”. Ambos, se consideran datos complementarios esenciales para cualquier modo geológico 3D confiable.

Por otro lado, resulta necesario citar lo expuesto por [22], quien reafirma que la construcción de perfiles geológicos es una de las técnicas más utilizadas para representar la geometría de las rocas y cuantificar algunos parámetros o procesos geológicos. No obstante, destaca que tanto la visualización de la configuración de las rocas como la cuantificación de los valores asociados implican además del interés científico, un interés social, por ejemplo, cuando las rocas albergan recursos geológicos o alguna actividad humana, o social, en caso de que

determinadas áreas puedan verse afectadas por peligros geológicos.

Para finalizar, se hace hincapié en la claridad del término perfil geológico y su composición, puesto que es una de las herramientas más esenciales en la geología, al ofrecer una vista aproximada del estado de los materiales y estructuras debajo de la superficie topográfica [12].

En relación con lo anterior, [1] argumenta que “Los perfiles geológicos están definidos por superficies que representan secciones transversales en capas geológicas. Están delimitados por las líneas que representan interfaces geológicas (por ejemplo, horizontes, fallas, no conformidades) y por puntos de esquina que representan contactos de la interfaz (por ejemplo, falla-falla, falla-horizonte) y sugerencias de falla. Superficies de modelo, líneas y esquinas se denominan entidades de modelo. No obstante, [19] manifiesta que “Las secciones transversales también se pueden construir o complementar con la interpretación de los datos del subsuelo (por ejemplo, reflexión y refracción sísmica, magnetotélúrica, gravedad u otros datos geofísicos)”. Razón por la cual, los perfiles se basarán en las interpretaciones de los datos, en ocasiones incorrectas (si son inconsistentes con los datos o violan un principio geológico) y algunas veces correctas, pero ninguna es “correcta”, toda vez que son aproximaciones de la realidad [19].

4. CONCLUSIÓN

El flujograma resultado de la presente investigación muestra un procedimiento generalizado para la construcción de un perfil geológico usando como materia prima información de tipo vectorial o ráster geográficamente referenciada y, como herramienta de procesamiento, software para sistemas de información geográfica (SIG) o software DAC. Cabe resaltar que un flujograma con más detalle en cada paso no puede ser regularizado, ya que existen innumerables softwares y que cuentan con una interfaz

propia de procesamiento. Es importante reconocer que para superar con éxito el paso de superposición y procesamiento de capas, es necesario un conocimiento básico de las herramientas de geoproceso y complementos con que cuenta software para SIG elegido y las herramientas de diseño del software DAC.

5. GLOSARIO

BUZAMIENTO. La línea de máxima pendiente (ZL) muestra la trayectoria de las aguas lluvias sobre el plano inclinado. Esa línea y también el plano tienen por buzamiento el ángulo α medido con relación al horizonte. Después del ángulo α se escriben dos letras consecutivas, la primera N o S y la segunda E o W, de tal manera que quede registrado el cuadrante hacia el cual el plano inclinado se deprime, es decir, hacia el cual avanza la línea de máxima pendiente (ZL). Como las curvas de nivel (CN) y las de máxima pendiente (ZL) son perpendiculares, una de las dos letras cardinales para el buzamiento (α), será igual a otra de las que tiene el rumbo (Φ). Si al rumbo de una línea se le cambian las dos letras cardinales, se produce un giro de 180° ; si se le cambia una sola letra, se producirá un giro de 90° [5].

CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA. Es el emparejamiento de estratos en función de su edad relativa. Correlacionar o comparar rocas de un lugar a otro no muy lejano, hace posible entender los sucesos que han ocurrido en el pasado geológico en esa región. Si las distancias fueran muy grandes, se necesita para la correlación también los fósiles [24].

CURVAS DE NIVEL. Son líneas que unen puntos de misma cota, es decir, misma altura. Con ellas se representa el volumen del terreno (3D) sobre una superficie plana (2D), marcando sus elevaciones, depresiones y pendientes. La cumbre de las montañas se representa con un icono triangular negro y la cifra de cota en metros [17].

DATO VECTORIAL. Una representación de los objetos del mundo real, como carreteras, terrenos y elevaciones, utilizando puntos,



líneas y polígonos. Los modelos de vectores son útiles para almacenar datos que tienen diferentes límites, como fronteras estatales, fronteras de países, áreas terrestres y calles, etc. Están representados por una forma archivo (.shp) [23].

DATO RÁSTER. Es la fotografía aérea digital, imágenes de satélites, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. Puede ser una imagen como (.tif) o (.jpg) [23].

ESTRATIGRAFÍA. Es la rama de la geología que estudia las capas de rocas sedimentarias o estratos en términos de su edad relativa, así como su distribución en los continentes de toda la Tierra y la interpretación de los ambientes en donde se depositaron los estratos [24].

FALLA GEOLÓGICA. Cuando los esfuerzos tectónicos aplicados a las rocas sobrepasan la deformación plástica, las rocas ceden ante los esfuerzos aplicados y se rompen. La falla es el resultado de la ruptura de la roca. Las tensiones sobre las rocas producen su ruptura o fracturación, y el desplazamiento relativo de las partes involucradas [24].

FORMACIÓN GEOLÓGICA. Es la unidad fundamental en la clasificación lito estratigráfica. Una formación es un cuerpo de roca identificado por sus características litológicas y posición estratigráfica, es comúnmente, pero no necesariamente, tabular, y es cartografiable sobre la superficie de la Tierra o identificable en profundidad [27].

GEOLOGÍA. Ciencia que estudia la composición y la disposición de los materiales que constituyen la litosfera terrestre, su naturaleza, su situación y las causas o fenómenos que originan esa disposición y de los efectos de los agentes que la alteran [27].

GEOPROCESOS. Son operaciones que implican la manipulación de datos con componente espacial, tiene: input (parámetros de entrada); procesamiento (simple o complejo) y output (parámetros de salida, habitualmente en forma de capa de datos. Se puede obtener nueva información partiendo de la ya existe y el uso de herramientas para los diferentes geo procesos de la información. [32].

GEOREFERENCIACIÓN. Es un proceso que permite determinar la posición de una entidad geográfica en la superficie terrestre de forma directa o de forma indirecta. La georeferenciación directa se sirve de un sistema de proyección y un sistema de coordenadas que representan el geoide terrestre (representación geométrica-matemática de la tierra) [3].

LITOLOGÍA. Características físicas visibles de una roca como color, textura, tamaño de grano o composición mineralógica. [25].

MODELO GEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL. 1Es una representación digital de formaciones subsuperficiales y sus características asociadas [31]. 2(Construcción de túneles) Un modelo 3D confiable debe utilizar un estándar de datos unificados para conciliar todos los datos geológicos disponibles. Dichos datos incluyen perforaciones, mapeo geológico y datos de propiedades de roca. Además, el modelo debe importarse o visualizarse a través de una plataforma digital de ingeniería subterránea para que se pueda incluir cualquier información geológica local nueva, como los datos de monitoreo de la superficie de excavación del túnel y los bocetos [4].

PERFÍL GEOLÓGICO. Están definidos por superficies que representan secciones transversales en capas geológicas. Están delimitados por las líneas que representan interfaces geológicas

(por ejemplo, horizontes, fallas, no conformidades) y por puntos de esquina que representan contactos de la interfaz (por ejemplo, falla-falla, falla-horizonte) y sugerencias de falla. Superficies de modelo, líneas y esquinas se denominan entidades de modelo [1].

PLIEGUE (Sinclinal o anticlinal). Son deformaciones que sufren los materiales terrestres que, en su origen, eran planos. Los pliegues sinclinales son cóncavos y las rocas más jóvenes están situadas en el núcleo del pliegue. A su vez, los anticlinales son convexos y las rocas más antiguas se encuentran en el núcleo del pliegue [24].

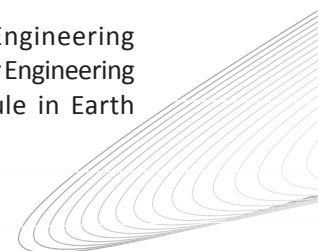
RUMBO. Supóngase un plano inclinado del cual se pueden dibujar las curvas del nivel (CN), perpendiculares a la línea de máxima pendiente (ZL). El rumbo será el ángulo horizontal que hace una curva de nivel del plano inclinado (CN) con la Norte-Sur, de tal manera que el ángulo sea agudo. En el rumbo antes del valor angular α va la letra N o S, según el extremo del meridiano de origen sea norte o sur, y después del ángulo va la letra E o W dependiendo del cuadrante (Este u Oeste) hacia donde avance la curva de nivel (CN) [5].

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG). Es un conjunto de capas con tablas de datos alfanuméricas asociadas a cada una de ellas referidas a la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización (las mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información. De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales conocimiento de esa zona [3].

SOFTWARE DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR (DAC). Tecnología para el diseño y documentación técnica, que reemplaza el dibujo manual con un proceso automatizado. La conforman unas herramientas, divididas en: programas de dibujo de dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D). Las herramientas 2D se basan en entidades vectoriales, como puntos y líneas, que se operan a través de una interfaz gráfica. Los modeladores 3D añaden superficies y sólidos [18][2].

6. REFERENCIAS

- [1] Anquez, P., Pellerin, J., Irakarama, M., Cupillard, P., Lévy, B., & Caumon, G. (2019). Automatic correction and simplification of geological maps and cross-sections for numerical simulations. *Comptes Rendus Geoscience*, 351(1), 48-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2018.12.001>
- [2] [2] AUTODESK. (2019). What is a CAD software? Recuperado de: <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- [3] [3] Arcview 9.x (2a. ed.). (2018). Editorial ICB. Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com>
- [4] [4] Chamrar, A., Oujidi, M., El Mandour, A., & Jilali, A. (2019). 3D geological modeling of Gareb - Bouareg basin in northeast Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 154, 172–180. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.023>
- [5] [5] Duque, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros. Macizo rocoso (307-337)*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/1572/294/macizorocoso.pdf>
- [6] [6] Griffiths, J. (2019). *Engineering Geology: Geological Maps for Engineering Geology*. Reference Module in Earth



- Systems and Environmental Sciences, 2, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11849-4>
- [7] [7] Grose, L., Ailleres, L., Laurent, G., Armit, R., & Jessell, M. (2019). Inversion of geological knowledge for fold geometry. *Journal of Structural Geology*, 119, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.11.010>
- [8] [8] Han JQ. (2007). Research on the auto-plotting of geological profile based on GIS. *Sci- Tech Information Development & Economy*;17 (31), 203 - 4 [In Chinese].
- [9] [9] Harumi, M., Fonseca, H., & Américo, L. (2017). Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior. *Revista Cartográfica*, (94), 127–148. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Homero_Fonseca_Filho/publication/323966811_Usado_software_livre_QGIS_Quantun_Gis_para_ensino_de_Geoprocessamento_em_nivel_superior/links/5ab523c10f7e9b68ef4bae1/Usodo-software-livre-QGIS-Quantun-Gis-para-ensino-de-Geoprocessamento-em-nivel-superior.pdf
- [10] [10] Hernández, C. R., Rivero, C. M. D., & Acosta, H. Á. (2018). MyMAPA 1.0. Plataforma para la construcción de Sistemas de Información Geográfica. *Ciencias de la Información*, 48(3), 28-32. Recuperado de: <http://cinfo.idict.cu/index.php/cinfo/article/view/883/561561568>
- [11] [11] Hu, B., & Zhu, L. (2011). The design and realization of the information system of geological profiles based on ArcEngine. *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology*, (2), 1307-1310. DOI: 10.1109/ICCSNT.2011.6182200
- [12] [12] Ichoku, C., Chorowicz, J., & Parrot, J. F. (1994). Computerized construction of geological cross sections from digital maps. *Computers & Geosciences*, 20(9), 1321-1327. DOI : [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0098-3004(94)90057-4)
- [13] [13] Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Los cortes geológicos. Recuperado de <http://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Atlas2/Atlas-geologico-de-Cataluna/Los-cortes-geologicos>.
- [14] [14] Jarna, A., Grøtan, B. O., Henderson, I. H. C., Iversen, S., Khloussy, E., Nordahl, B., & Rindstad, B. I. (2016). Managing geological profile databases for 3D visualisation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42 (2/W2), 115-121. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-115-2016
- [15] [15] Jing,W., Xuejuan, W., & Xiaolong, W. (2019).Three-dimensional visual modelling of geological information of hydraulic engineering based on surface constraint reconstruction. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*; 11(1), 11-18. DOI: 10.1504/IJESMS.2019.098905
- [16] [16] Jingqiu, Y, Xinfa, Q., Anbo, L., & Mingyue, L. (2011). Automatic drawing of the geologic profile of an underground mine based on COMGIS. *Mining Science and Technology (China)*, 21(1), 77-81. DOI: 10.1016/j.mstc.2010.12.015
- [17] [17] López del Pino. S. J., & Martín, C. S. (2017). Orientación y trazado de recorridos en el medio natural o urbano: UF 0729. Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com>

- [18] [18] López, L. B., & Breña, C. V. (2014). Autocad 2013. El entorno de trabajo de AutoCAD(15-18). Recuperado de ProQuest Ebook Central
- [19] [19] Lopez-Mir, B. (2019). Cross-Section Construction and Balancing: Examples From the Spanish Pyrenees. *Problems and Solutions in Structural Geology and Tectonics*, 5, 3–23. DOI :10.1016/b978-0-12-814048-2.00001-6
- [20] [20] Lü, G., Batty, M., Strobl, J., Lin, H., Zhu, A.-X., & Chen, M. (2018). Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(2), 1–22. DOI: 10.1080/13658816.2018.1533136
- [21] [21] Martín, S., Antón, L., Martín, C., & Martín, F. (2017). Cortes geológicos con ordenador. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(2), 229-236. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/132355522.pdf>
- [22] [22] Martín, S., Uzkeda, H., Poblet, J., Bulnes, M., & Rubio, R. (2013). Construction of accurate geological cross-sections along trenches, cliffs and mountain slopes using photogrammetry. *Computers & Geosciences*, 51, 90–100. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.09.014
- [23] [23] Mohanty, P., Padhy, H. M., & Mishra, P. (2018). Geoweb Application for Web based geoprocessing. *Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT)*, 4(2). DOI: <https://doi.org/10.33130/asian-journals.v4i11.624>
- [24] [24] Pérez, R. A., & Vrba, A. (2017). *Ciencias de la tierra*. Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com>
- [25] [25] Rull del Castillo, V. (2018). El antropoceno. Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com>
- [26] [26] Seguí, A.E.; Portalés, C.; Cabrelles, M.; Lerma, J.L. (2012). Los sistemas de información geográfica: concepto, ventajas y posibilidades en el campo de la restauración. *Loggia, Arquitectura & Restauración*. (24-25), 122-131. DOI:10.4995/loggia.2012.3008
- [27] [27] Servicio Geológico Colombiano. (2019). Glosario. Recuperado de: <https://www2.sgc.gov.co/AtencionAlCiudadano/Paginas/Glosario.aspx>
- [28] [28] Silva, J. X. (2012). Uma Posição Crítica e Atuante para a Geografia. *Espaço Aberto*, 2(1), 17-26.
- [29] [29] Scheider, S., & Ballatore, A. (2018). Semantic typing of linked geoprocessing workflows. *International Journal of Digital Earth*, 11(1), 113–138. DOI : <https://doi-org.crai-ustadigital.usantomas.edu.co/10.1080/17538947.2017.1305457>
- [30] [30] Soldo, L., Vendramini, M., & Eusebio, A. (2019). Tunnels design and geological studies. *Tunneling & Underground Space Technology*, 84, 82–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.10.013>
- [31] [31] Thornton, M., Mariethoz, G., & Brunner, P. (2018). A 3D geological model of a structurally complex Alpine region as a basis for interdisciplinary research. *Scientific data*, 5 (180238). DOI: 10.1038/sdata.2018.238
- [32] [32] Vega, B. (2018). Generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de herramientas de geoprociamiento como elemento innovador para la ordenación

urbanística (Bachelor's thesis). Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y urbanismos. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30711>

[33] [33] Zhang, Q., & Zhu, H. (2018). Collaborative 3D geological modeling analysis based on multi-source data standard. *Engineering Geology*. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.10.001

AUTORES

Maríen Julieth Cetina Corredor. Estudiante de ingeniería civil Universidad Santo Tomás. Egresada como bachiller técnico-agropecuario en producción de café de la Institución Educativa Jorge Eliecer Gaitán de la Salina Casanare, con reconocimiento mejor ICFES a nivel institucional. Mención honorífica por el proyecto “Yo incluyo” desarrollado durante la participación en el I WorkShop Académico de Diseño Universal [WADU] para la ciudad de Tunja en el año 2016. Participación en VI y VII versión del congreso internacional de ingeniería civil de la Facultad de ingeniería civil, Universidad Santo Tomás seccional Tunja. Ponente en el “XIII encuentro regional de semilleros de investigación Redcolsi - Nodo Boyacá” realizado del 13 al 15 de mayo de 2015 en Sogamoso Boyacá, con el proyecto titulado “Estudio y propuesta de ciclorruta para el tramo Villa Olímpica - Avenida. Universitaria en Tunja Boyacá”.

Guillermo Flechas Fajardo. Ingeniero geólogo especialista en Gestión de Recursos Mineros. Ponente en la “7ª Semana Geomática Internacional” realizada del 14 al 18 2017 en Bogotá D.C., Colombia, con el tema Geomorfología aplicada al Ordenamiento Territorial.