

**Implementación de un Sistema de Información Geográfica para la categorización
de los posibles pasivos ambientales en Colombia**

Johnatan Jairo Cristancho Vanegas - Código 11792116245

Fabio Ramírez Chaustre - Código 11792113135

Universidad Antonio Nariño

Programa Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil, Universidad Antonio Nariño

Bogotá, Colombia

2022

**Implementación de un Sistema de Información Geográfica para la categorización de
los posibles pasivos ambientales en Colombia**

Johnatan Jairo Cristancho Vanegas

Fabio Ramírez Chaustre

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Doctor Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil, Universidad Antonio Nariño

Bogotá, Colombia

2022

Contenido

Pág.

Contenido	
Preliminares.....	7
Resumen.....	8
Palabras clave.....	8
Abstract.....	9
Keywords	9
Introducción	10
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos.....	13
Marco Teórico	14
Estado del Conocimiento.....	16
Metodología	20
Determinación de tablas y campos	21
Elaboración del esquema entidad relación	22
Pruebas de lógica	23
Determinación de la plataforma	23
Implementación del proceso.....	24
Depuración de errores (Debuggin)	25
Análisis de resultados	25
Resultados.....	28
Procedimientos de Captura, Proceso y Consulta:.....	28

Determinación de Tablas y Campos.....	30
Elaboración esquema Entidad - Relación.....	40
Pruebas de Lógica	41
Determinación de la Plataforma.....	41
Valor Económico y Capacidades De Implementación de los Paquetes Informáticos.....	42
Para ArcGIS Online y ArcGIS Desktop	44
Percepción de los Usuarios	46
Implementación del Proceso	52
Model builder, Cálculo de campos según “Procedimientos de captura, proceso y consulta”	52
Carga de datos. Preparación mapas y salidas	57
Depuración de errores.....	59
Presentación de Resultados	60
Análisis	68
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias.....	73

Lista de Figuras

	<u>Pág.</u>
<i>Figura 1.</i> Pasos para el desarrollo del trabajo.....	20
<i>Figura 2.</i> Flujoograma del proceso general para tratamiento de pasivos ambientales (Minambiente, 2018).....	26
<i>Figura 4.</i> Esquema de relación de las tablas. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 9:	49
<i>Análisis por el programa</i>	49
<i>Figura 5.</i> Elaboración en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.	52
<i>Figura 6.</i> Ventana “Calculate field” con sentencias VB en el Model Builder. Fuente: Elaboración propia.	53
<i>Figura 7.</i> Cálculo de valores ”Inst_amb” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.	54
<i>Figura 8.</i> ventana N°2 “Calculate field” con sentencias VB en el Model Builder. Fuente: Elaboración propia.	55
<i>Figura 9.</i> Cálculo de valores ”Respons” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia. .	55
<i>Figura 10.</i> Cálculo de valores “Acepta” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia. .	56
<i>Figura 11.</i> Cálculo de valores “riesgo1 y riesgo2” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.	57

<i>Figura 12.</i> “Shape” cargado en ArcGIS ONLINE. Fuente: Elaboración propia.	58
<i>Figura 13.</i> Creación de cuadro de mando eventos ambientales. Fuente: Elaboración propia.	58
<i>Figura 14.</i> Imagen de la ventana de dominios de la geodatabase. Fuente: Elaboración propia.	59
<i>Figura 15.</i> Cuadro de mando. Fuente: Elaboración propia.	61
<i>Figura 16.</i> WEB APP BUILDER Geovisor elaborado. Fuente: Elaboración propia.	62
<i>Figura 17.</i> Iconos para realizar diferentes acciones en el Geovisor	63
<i>Figura 18.</i> Despliegue de datos de cada punto. Fuente: Elaboración propia.	64
<i>Figura 19.</i> Captura de pantalla N°1 de celular con la aplicación. Fuente: Elaboración propia.	65
<i>Figura 20.</i> Captura de pantalla N°2, aplicación de captura de datos. Fuente: Elaboración propia.	66
<i>Figura 21.</i> Captura de pantalla N°3 Dominios en la tabla de datos. Fuente: Elaboración propia.	67

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1:	22
<i>Valores calculados para tamaño de muestra desde población finita</i>	22
Tabla 2:	30
<i>Campos de la base consolidada</i>	30
Tabla 3:	37
<i>Tabla de decisión</i>	37
<i>Comparación de características QGIS Cloud gratuito y pago</i>	42
Tabla 5:	45
<i>Características de licencia personal no comercia</i>	45
Tabla 6:	46
<i>Comparación general ArcGIS -QGIS Cloud</i>	46
Tabla 7:	48
<i>Administración de datos por el programa SIG</i>	48
Tabla 8:	48
<i>Creación de mapas por el programa SIG</i>	48
Tabla 9:	49
<i>Análisis por el programa SIG</i>	49

Tabla 10:	49
<i>Tipo de compañía del encuestado</i>	49
<i>Sector de industria del encuestado</i>	49
Tabla 12:	50
<i>Otras alternativas</i>	50

Preliminares

Dedicatoria

*A mis padres, mi esposa y mis hijas al igual que a
todas las personas que en algún momento me
han dado su apoyo, gracias, mil gracias.*

Fabio Ramírez.

*A mi familia y a aquellas personas que me brindaron
su apoyo aun en los momentos más
desafiantes.*

Johnatan Cristancho.

Resumen

La implementación de un sistema de información geográfica que reciba los datos de impactos ambientales, los procese y entregue clasificados como pasivo ambiental o como evento resuelto, permitiría a las instituciones involucradas en su gestión el tener una base consolidada y unos instrumentos de captura, almacenamiento y consulta con datos interoperables, que, siguiendo una estructura de pasos permita la clasificación de los eventos como activos, clausurados, pasivo declarado o finalmente como pasivos huérfanos para proceder acorde a esto con los instrumentos legales y presupuestales necesarios.

El proceso de implementación fundamentó los pasos y decisiones desde el diagrama de flujo elaborado por el ministerio de medio ambiente para el proceso de declaración de un impacto como pasivo ambiental. La determinación de variables, capas geográficas y alfanuméricas necesarias y la implementación de este proceso mediante un piloto permitió tomar información de impactos, validarla y procesarla para el llenado de una base de datos que permitiría la determinación como pasivo ambiental en la forma de un Sistema de Información Geográfica en un ambiente web usando la plataforma ArcGIS ONLINE.

Palabras clave

Pasivos ambientales, Sistemas de información Geográfica, Aplicación SIG.

Abstract

The implementation of a geographic information system that receives data on environmental impacts, processes and delivers them classified as environmental liability or as a resolved event, would allow the institutions involved in their management to have a consolidated base and instruments for capture, storage and consultation with interoperable data, which, following a structure of steps allows the classification of events as active, closed, declared liability or finally as orphan liabilities to proceed accordingly with the necessary legal and budgetary instruments.

The implementation process based the steps and decisions on the flow chart prepared by the environment ministry for the process of declaring an impact as an environmental liability. The determination of variables, geographic and alphanumeric layers necessary and the implementation of this process through a pilot allowed to take information on impacts, validate it and process it for filling in a database that would allow the classification as an environmental liability in the form of a Geographic Information System under a web environment using the ArcGIS ONLINE platform.

Keywords

Environmental liability, Geographic information system, GIS implementation.

Introducción

Los llamados *pasivos ambientales* (“*environmental liabilities*” en la literatura anglosajona) tienen muchas definiciones (Rodríguez-Zapata, 2021) (Feichtner, 2020), sin embargo una de ellas se destaca por ser simple y reunir sus características principales y es la de Innova (2015), quienes la definen así: un pasivo ambiental *"Es (son) el (los) impacto(s) ambiental(es) negativo(s) ubicado(s) y delimitado(s) geográficamente, que no fue o fueron oportuna o adecuadamente mitigados, compensados, corregidos o reparados; causados por actividades antrópicas y que pueden generar un riesgo a la salud humana o al ambiente"*.

En 2009 la Universidad Nacional de Colombia propuso una tipología de los pasivos ambientales que ha contribuido no solo a la documentación de los mismo sino al desarrollo de estrategias para la gestión de los mismo.

Un *pasivo ambiental configurado*, tiene certeza judicial o administrativa de su existencia y por lo tanto genera la obligación de asumir un costo por el daño ambiental. El *pasivo ambiental contingente*, no se ha configurado, pero por el conocimiento histórico de la actividad es posible determinar quiénes serán los responsables y cuáles serán los efectos en el futuro. Y el *pasivo ambiental huérfano*, se encuentra desposeído de una responsabilidad establecida, ya sea por la inhabilidad de determinar el responsable o la incapacidad de este de asumir el costo reparación (Rodríguez-Zapata, 2021).

Colombia lleva el registro de los impactos ambientales, pues todos los departamentos del país se encuentran afectados en alguna medida (Rodríguez-Zapata, 2021), por eventos de contaminación, accidentes y otros, como voladura de oleoductos, en los distintos entes

sectoriales como el Ministerio de Minas, Cisproquim, CAR y otros. En general, ellos disponen su información y ésta es reportada a la autoridad ambiental local y/o nacional.

En el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana (DAASU) se encarga de recopilar dichos datos.

En el presente trabajo se analizaron los diferentes criterios y reglas de decisión para declarar un registro de un evento o impacto ambiental como pasivo ambiental, y su clasificación, a partir de un diagrama de flujo que permitió delinear un algoritmo para la clasificación a partir de datos o registros de eventos, estableciendo así el tipo de valuación tanto de los datos de entrada y de salida, y la valoración o corrección de errores. El análisis consecuente se llevó a cabo en concordancia con las experiencias nacionales e internacionales revisadas, permitiendo realizar recomendaciones a dichos procesos.

En el ejercicio profesional, y en general para cualquier actividad racional, el acceso a los datos es de vital importancia para efectuar análisis y llegar a conclusiones acertadas.

En el caso de la determinación de pasivos ambientales, los eventos de impacto ambiental se conocen de primera mano por parte de las autoridades locales, y su registro escala poco a poco hasta llegar a entes de carácter nacional.

Dependiendo de su naturaleza y magnitud, los eventos citados pueden dejar secuelas a corto, mediano y largo plazo, pero en todos los casos se requiere la intervención de las autoridades ambientales y administrativas para asegurar la atención, remediación y/o recuperación, pero, ante todo, se debe asegurar que los responsables del evento se hagan cargo de estos procesos.

En Colombia, los pasivos ambientales y las autoridades ambientales han seguido pasos lógicos, y a través de aproximaciones, se han logrado formalizar convenios interinstitucionales para acceder a la información y consolidar bases de datos desde los diferentes sectores de la economía.

El problema para los responsables de la información y su ensamble, ha sido generalmente la variedad de formatos de almacenamiento, la poca uniformidad de los campos y los errores de tipo o de concepto al registrar los eventos, haciendo que la tarea de capturar, acopiar y analizar eventos históricos o actuales no se enmarquen en tareas interoperables o transparentes para su interrelación entre entidades.

El diseño de una o más herramientas SIG para la georreferenciación, ingreso de datos, importación, validación y análisis de los mismos, que tenga como objetivo resolver esos inconvenientes y permita la interoperabilidad entre entidades, ayuda a resolver los problemas acá delineados y esa es la finalidad del presente trabajo.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un piloto de Sistema de Información Geográfica para la categorización de los posibles pasivos ambientales en Colombia.

Objetivos Específicos

- Describir el flujo de información y decisiones para declarar un evento como posible pasivo ambiental.
- Diseñar el esquema de datos o el sistema de captura, almacenamiento y recuperación de los datos a partir de la información existente de incidentes ambientales.
- Desarrollar el piloto de categorización con los datos recopilados.

Marco Teórico

Un pasivo ambiental es una deuda generada por una obligación legal, administrativa, contractual o judicial (incluso asumida de manera voluntaria y unilateral) que implica pagar, compensar, manejar, reparar, prevenir o mitigar los efectos ambientales negativos causados por una persona (natural o jurídica) en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad (lineal o acumulativa), que ha superado el límite establecido entre el impacto (pasado, actual o futuro) permitido y el daño ambiental generado, representando un riesgo actual o potencial, ya sea por enterramiento, abandono, almacenamiento inapropiado subterráneo o superficial de residuos peligrosos, manufactura, uso, lanzamiento, o amenazas de lanzar sustancias particulares o actividades que afecten el ambiente y los derechos de las personas (Garzón et.al. 2009) citado por (Sierra, Vega, & Castellanos, 2020) (Rodríguez-Zapata, 2021) (Charreire, 2021) (Valve, 2022).

La responsabilidad jurídica del pasivo ambiental al que las empresas están sujetas depende del sistema legislativo nacional del país donde el daño se produce (Yi, 2020). Muchas transnacionales occidentales prefieren operar en los países del sur, no sólo porque allí están las materias primas sino porque las normas ambientales y laborales son menos estrictas en estas latitudes, esto les permite ahorrar en costos. Sin embargo, muchas veces el problema principal no es la falta de legislación, sino de control. Por ejemplo, las cantidades permitidas de sustancias nocivas en el agua en Perú no son muy diferentes de los límites establecidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE. UU., por lo que el problema radica en que, en el sur, más frecuentemente que en el norte, estos límites no son respetados,

debido al menor poder político, económico, la coerción de la pobreza y de la deuda externa (Alier & Martínez, 2002)

Actualmente, la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, acrónimo en inglés), se está empleando a nivel global en casi todas las ramas de la ciencia y la tecnología, a saber, para investigaciones científicas, gestión de los recursos, gestión de activos, arqueología, evaluación del impacto ambiental, planificación urbana, cartografía, sociología, geografía histórica, marketing, logística, etcétera (Díaz, Montalvo, & Andalia, 2009).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos. Sus orígenes están arraigados en la ciencia geográfica. Los SIG integran diversos tipos de datos, pues analizan la ubicación espacial y organizan capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad única, el SIG revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes (ESRI, 2022)

Es así que los SIG facilitan la revisión de la brecha entre las condiciones deseadas y las actuales, pues permiten una visión general y a su vez brinda posibilidad de acercamientos selectivos al tema y grado de detalle que requiere cada usuario en particular. Por ejemplo, si se observa el mapa de un municipio para determinar el estado de los bosques, puede ser importante tener la visión general de la ubicación de los fragmentos de bosque, las corrientes de agua y vías que los atraviesan, así como la cercanía a centros poblados. Puede resultar igualmente importante comprender en detalle cada una de estas capas temáticas, es decir,

conocer el área total en bosques, el número de fragmentos, los nombres y características de las fuentes de agua y el número de habitantes de cada centro poblado (Molina, López, & Villegas, 2005)

Estado del Conocimiento

Con el ánimo de avanzar en la conceptualización y establecimiento de procedimientos para la gestión integral de los "pasivos ambientales", en el año 1999 y 2000 el Ministerio del Medio Ambiente Colombiano organizó un taller nacional, tres talleres regionales y posteriormente memorias de cada uno (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Sf)

Se revisaron conceptos como el de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU: "la obligación legal de hacer un gasto en el futuro por actividades realizadas en el presente y el pasado sobre la manufactura, uso, lanzamiento, o amenazas de lanzar, sustancias particulares o actividades que afectan el medio ambiente de manera adversa" (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, s.f.).

En 2002, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) realizó y publicó un informe basado en la metodología aplicada por Estados Unidos y Europa, en donde se usan diferentes estudios, aplicación de leyes y decretos ambientales, para lograr establecer la responsabilidad ambiental (environmental liability (Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeacion Minero Energetica, 2001)

En 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) elaboró un documento para caracterizar el tipo de pasivo y definir un responsable, de haberlo este debe responder por el pasivo ambiental, de lo contrario se declarará como pasivo huérfano,

en este caso el estado asumirá la responsabilidad de reparar el pasivo ambiental (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Desde 2009, el Ministerio de Minas y Energía lidera un trabajo tendiente a profundizar y mejorar la conceptualización relacionada con pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia, con base en evaluaciones en zonas piloto de explotación de oro y carbón. Para esto, cuenta con la participación y el apoyo técnico conceptual del MAVDT en la construcción de la base técnica para sustentar la proyección de la política minera y de las estrategias para la gestión de los PAM en Colombia (Unidad de Planeación Minero Energetica, 2012)

En 2014, la UPME desarrolló un documento con la estrategia para la intervención de áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono donde se realizó la definición de pasivo ambiental y pasivo ambiental huérfano, mecanismos para caracterizar y priorizar los pasivos ambientales, criterios para asignación de responsabilidades y métodos para cuantificación económica del impacto ocasionado por el pasivo ambiental (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014)

En 2018 la Universidad del Valle publico los resultados de un estudio de la transformación territoriales producida por la agroindustria cañera que se obtuvieron del análisis de imágenes satelitales a través de las cuales una serie de capas de cobertura terrestre se analizó el formato raster (resolución de 30m×30m). Con esta metodología han asociado el paisaje local con las condiciones de poder económico y político, y demostrado como estas relaciones han generado marginación económica y ambiental de las comunidades que habitan esta zona (Correa-García, 2018).

En 2019 se presentó en Lima (Perú) una tesis para optar al título de ingeniero geógrafo que documenta la aplicación de un sistema de información geográfica para la identificación de pasivos ambientales del subsector hidrocarburos en dicho país para el 2013, en ella se tipificaron las tareas por etapa acordes a la legislación peruana que debían ser ejecutadas y con ello se procedió al diseño de herramientas de procesos y captura de datos para la identificación eficiente de dichos sitios (Espinoza Quiroz, 2019)

En 2021, se radica en el Senado de la República el Proyecto de Ley 574 de 2021, por medio del cual se establece la definición oficial, la tipología y los mecanismos para la gestión de pasivos ambientales en Colombia y se dictan otras disposiciones (García, y otros, 2021)

Actualmente la legislación colombiana establece unos lineamientos relacionados con los pasivos ambientales antes mencionados, los cuales se mencionan a continuación:

1. ***Constitución Política de Colombia en sus artículos:***

- Artículo 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación (Congreso de la República de Colombia, 2021).
- Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Congreso de la República de Colombia, 2021). Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas (Congreso de la República de Colombia, 2021).
- Artículo 361. Con los ingresos provenientes de las regalías que no sean asignados a los departamentos y municipios, se creará un Fondo Nacional de Regalías cuyos

recursos se destinarán a las entidades territoriales en los términos que señale la ley. Estos fondos se aplicarán a la promoción de la minería, a la preservación del ambiente y a financiar proyectos regionales de inversión definidos como prioritarios en los planes de desarrollo de las respectivas entidades territoriales (Congreso de la República de Colombia, 2021).

- Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación (Congreso de la República de Colombia, 2021).

2. **Decreto 1076 de 2015**, Art 1.1.1.1. Determina que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el órgano encargado de guiar el ordenamiento territorial y de definir las políticas a las que se encuentran sujetas la conservación, protección, ordenación y aprovechamiento de los recursos renovables y del ambiente de la Nación (Presidencia de la República de Colombia, 2021).

Metodología

Para el trabajo que desarrollaremos, es necesaria una serie de pasos que se grafican en la Figura 1 y se detallan más adelante en el cuerpo del texto.

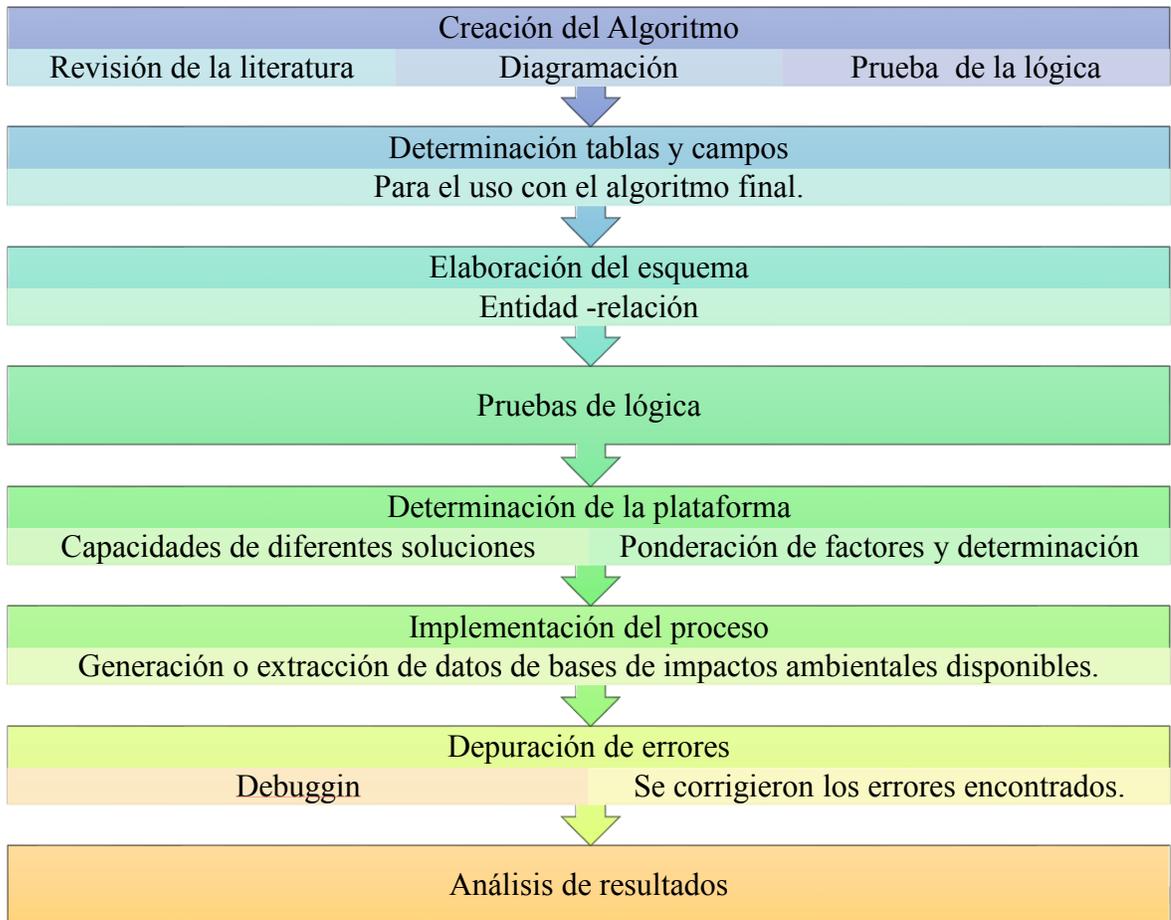


Figura 1. Pasos para el desarrollo del trabajo.

Creación del algoritmo

De la revisión de la literatura se obtuvo un esbozo de los procesos a seguir para la determinación de un posible pasivo ambiental como un pasivo declarado y posteriormente su clasificación como pasivo huérfano u otro tipo de pasivo.

Este proceso se halló descrito en varias fuentes y de diversas formas, pero en el documento del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del año 2015 *Diseño de una estrategia para la gestión integral de pasivos ambientales*, se encontró en la forma de un esquema lógico-secuencial de pasos con valores de decisión. Este esquema se tradujo a la forma de un algoritmo.

Determinación de tablas y campos

Con el algoritmo desarrollado por etapas, se debatió en el grupo de trabajo y se llegó a consenso sobre los elementos geográficos y tabulares mínimos que contuvieran los datos que en cada parte del proceso llevaran a una decisión o se usaran como insumo para una valoración de dicho proceso.

Una vez definidos, se procedió al análisis de los campos accesorios o adicionales que a juicio de los integrantes del equipo fueron necesarios, o que en el proceso se nombraran como almacén de datos adicionales.

Para el proceso se generó una muestra de los datos acumulados por el MADS-DAASU que cuenta con eventos históricos hasta el año 2015 y su actualización al año 2018, se determinó un tamaño de muestra de 461 datos desde una población de 5297 eventos históricos (Tabla 1). Dada la posible sensibilidad de los involucrados y acorde a la ley de protección de datos

(ley 1581 de 2012) se procedió a la modificación de campos, como el nombre de empresa y la localización del evento (coordenadas Este y norte) con el uso de un modificadorio de generación aleatoria sobre cada valor de coordenada y el reemplazo del nombre de responsable por “Empresaxxx” donde xxx= número entre 1 y 150.

Para el cálculo del tamaño muestral se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = (N * Z^2 * p * q) / (e^2 * (N-1) + Z^2 * p * q)$$

Tabla 1:

Valores calculados para tamaño de muestra desde población finita

Parámetro	Valor	Descripción
N	5297	población
Z	2,576	99% nivel de confianza
p	0,95	probabilidad de que ocurra el evento
q	0,05	Probabilidad de no ocurrencia q=1-p
e	0,025	error de estimación máximo esperado 2,5%
n	461	tamaño de muestra buscado población finita

Elaboración del esquema entidad relación

Con el algoritmo o pasos definidos y las tablas definidas, se procedió a establecer las relaciones de cada tabla y sus diferentes valores de cardinalidad entre datos y llaves.

Se plasmaron dichas relaciones en la forma de un diagrama entidad relación que permitió revisar las citadas conexiones entre datos de campos y tablas.

Pruebas de lógica

Se desarrollaron varias pruebas de lógica al algoritmo (también llamada prueba de escritorio), mediante la elección de un conjunto de datos de prueba y el desarrollo de la llamada lista de verificación que incluyó las variables y valores de entrada, los campos de almacenamiento y los diferentes resultados a obtener.

Se procesaron quince registros (3,25%) del conjunto de datos de prueba (461 datos) sin que se evidenciaran fallos en el proceso

Determinación de la plataforma

Se compendió una lista de las plataformas informáticas y combinaciones de ellas para el proceso del algoritmo final, se encontraron programas informáticos de código libre y de propietario como QGIS (QGIS online, QGIS Desktop), ArcGIS (ArcGIS Online, ArcMAP, Fields map), entre otros, para los cuales se desarrolló una lista de verificación que permitió la comparación de las diferentes necesidades de implementación y las capacidades de cada uno de ellos.

De las tablas comparativas, se procedió a la elección de la plataforma final en la que el resultado fue la suite ESRI. Se evidenció una relativa igualdad de los factores entre diferentes plataformas, pero, la facilidad en curva de aprendizaje, la disponibilidad por parte de la universidad y facilidad de implementación, nos inclinaron a esta solución, acorde a las características definidas por el grupo de trabajo.

Aun cuando se hizo una definición de plataforma y requerimientos por parte del grupo de trabajo para la implementación del piloto para almacenamiento y proceso de los eventos de impacto ambiental, y, finalmente su incorporación hacia una base de datos geográfica, se delineó además la valoración para permitir elegir otra plataforma o su recomendación en caso de implementación como solución coherente para el manejo de los datos de impactos y proceso de determinación como pasivo ambiental.

En la selección de la plataforma se tuvieron en cuenta elementos y roles de los usuarios y posibles consumidores de la información, y, por tanto, integró programas (software), equipos (hardware), el tipo de información de entrada, almacenamiento y salida, y los elementos como recurso humano, procesamiento y usuarios.

Implementación del proceso

Para la plataforma final elegida, se acopiaron los valores de entrada, elementos geográficos de base cartográfica y temática. Estos se ingresaron en el esquema de almacenamiento diseñado.

Se implementaron los diferentes procesos necesarios como la asignación de valores, cruce de capas y cálculos sobre los datos alfanuméricos y geográficos siguiendo el modelo determinado en los pasos previos.

Se implementó así el esquema de almacenamiento y procesamiento para los datos recopilados.

Depuración de errores (Debuggin)

Este proceso se desarrolló paralelamente con el proceso de implementación e incluyó el uso de listas de chequeo, datos en extracto y, en general, se ejecutó como parte de la implementación de los módulos de captura, almacenamiento, proceso y recuperación de datos.

Para cada comportamiento errado o no deseado dentro del proceso encontrado, se registró y se evaluó la forma de controlarlo y se ejecutó la corrección y ajuste necesario, ej.: valores similares o erróneos de datos como la misma palabra con y sin tilde o primera letra mayúscula o minúscula.

Análisis de resultados

Una vez finalizados el proceso de implementación y carga de los datos de prueba en el paquete final de datos, se sintetizaron los resultados documentados del proceso, se listaron los resultados de cada fase (variables, errores, y otros), se evaluaron para determinar su peso específico o relevancia sobre los objetivos planteados y finalmente se acopió en forma tabular y gráfica.

La base fundamental del proceso se tomó directamente de la documentación del MADS sobre el tema y a continuación se muestran los dos diagramas de proceso en lo referente al manejo y declaración de un evento ambiental (de contaminación o daño ambiental) como un pasivo ambiental declarado.

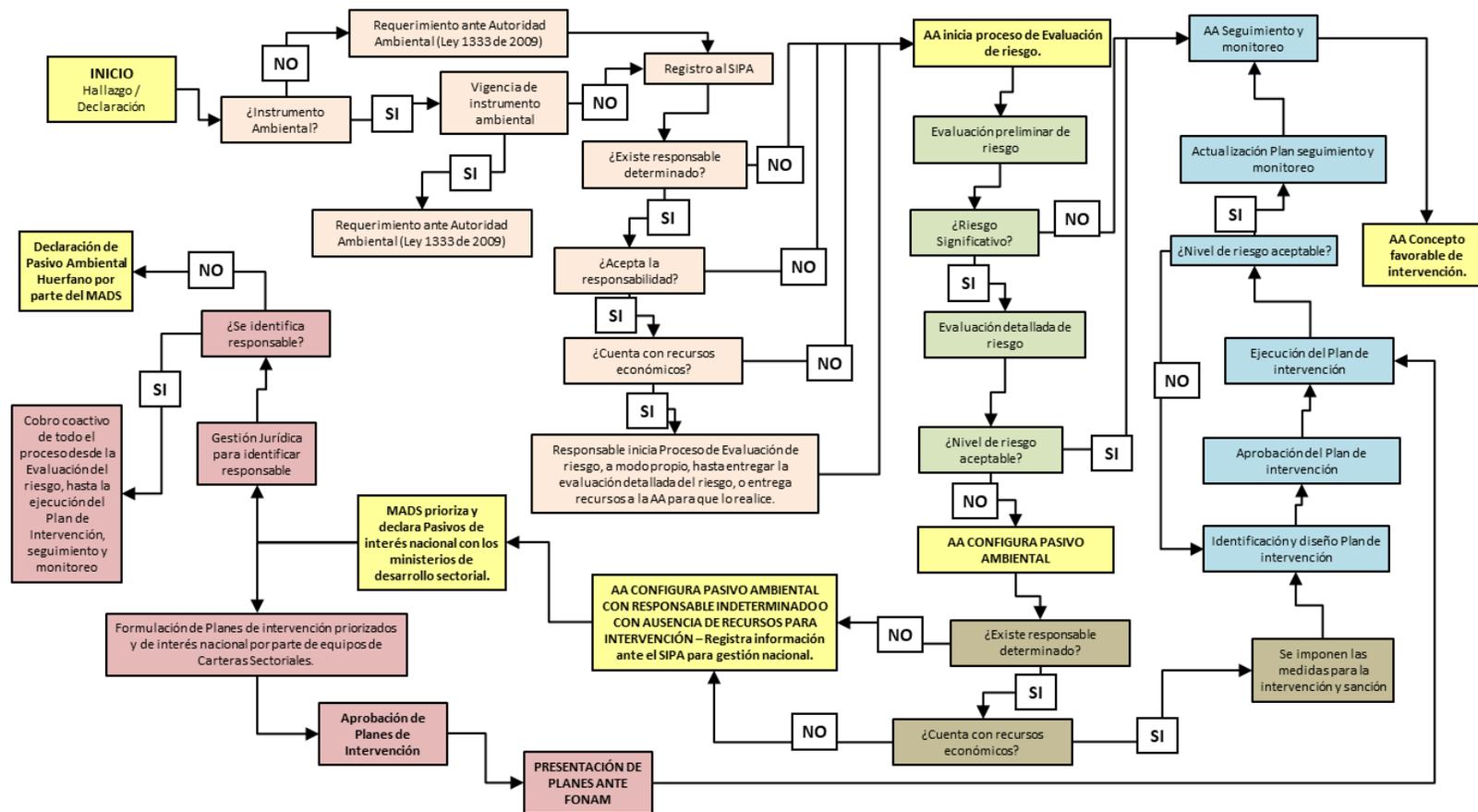


Figura 2. Flujoograma del proceso general para tratamiento de pasivos ambientales (Minambiente, 2018)

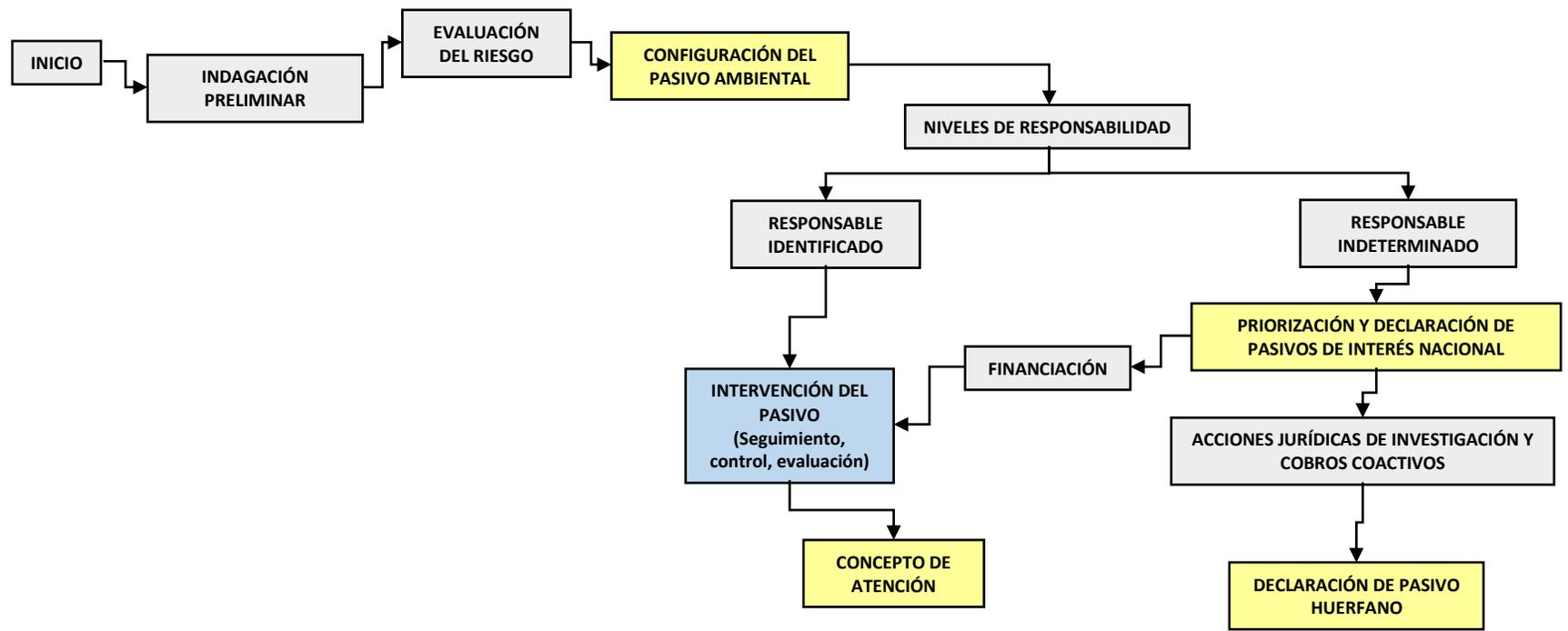


Figura 3. Flujograma del proceso general para tratamiento de pasivos ambientales (Minambiente,2018).

Resultados

Procedimientos de Captura, Proceso y Consulta:

Definido el algoritmo como los pasos sucesivos a dar para el logro de una tarea específica, se propuso el siguiente para la captura de los datos sobre eventos a clasificar como posibles pasivos ambientales.

El proceso se dividió en cuatro secciones así:

- 1) Carga del reporte en la herramienta de captura (vía web, por aplicación de escritorio o teléfono celular “Android” o iPhone)
- 2) Determinación de datos faltantes.
- 3) Carga de datos faltantes
- 4) Generación de reporte o filtro y consulta de eventos consolidados.

La sección N°1 (Carga del reporte) se ingresa de la siguiente manera:

- A) Ingreso de evento: Al entrar en edición se asigna el identificador único para el evento. Se procede al llenado de datos descriptores como: Evento de derrame, mina en abandono, químicos en suelos y otros datos relevantes como extensión del evento (área, corriente de agua, longitud de derrame u otros.
- B) Ingreso de ubicación: coordenadas o ubicación geográfica por referencias como vereda, dirección, punto GPS o cámara con localización de punto GPS.
- C) Ingreso de responsable: Como empresa o quien origino o presentó el accidente o suceso que determinó el impacto.

D) Ingreso de acciones desarrolladas: Mecanismo de atención usado.

El evento se registra y aun cuando haya datos nulos o vacíos se permite la captura con calificación de registro en proceso o pendiente para completar.

La sección N°2 (Determinación de datos faltantes) se procesa así:

- A) Revisión de valores vacíos y/o nulos: se genera reporte de valores y se resaltan los campos vacíos o nulos.
- B) El evento se califica y ajusta el estado de proceso como “Nuevo en ingreso” si hay datos faltantes. De no haberlos se ajusta como “Evento en revisión” (y de llegar a resolución se pasa a “evento declarado”).

La autoridad que registra el evento deberá entonces reunir los datos faltantes, si dichos datos no se tienen o no se consideran necesarios, esto se registra y el evento queda registrado como “Evento en revisión” hasta que termine el proceso para declaración como “evento terminado” con concepto favorable de intervención.

La sección N°3 (Carga de datos faltantes) se procesa de la siguiente forma:

- A) Con el identificador de evento se accede a la edición de datos y se registran los valores faltantes, una vez terminado se finaliza la edición.
- B) El paso anterior se deberá repetir para acceder a la actualización de estado del proceso hasta la declaratoria como pasivo declarado, huérfano o simplemente como evento con concepto favorable de intervención.

La sección N°4 (Generación de reporte o filtros y consulta de eventos consolidados) se procesa de la siguiente forma:

- A) La base de datos consolidada se visualiza y procesa a través de filtros, tablero de control y otras formas de visualización.

Determinación de Tablas y Campos

Los diferentes campos posibles deben incluir entre otros los atributos de localización, tipo de evento, responsable, y en general los atributos tanto de información base, como los campos de decisión o de valores resumen de procesos.

La tabla consolidada de posibles pasivos ambientales de Colombia abarca los campos consignados en la Tabla 2:

Tabla 2:

Campos de la base consolidada

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
CONSECUTIVO	num	Entero	3,0	No aplica	campo de ordeno de

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
					identificador único de registro
PERIODO	periodo	texto	20	No aplica	periodo o fecha en que el evento se presentó
EMPRESA	empresa	texto	50	No aplica	Nombre de la empresa o propietario de la actividad
NOMBRE DEL PUNTO	nombre_p	texto	50	No aplica	Nombre con que se conoce el sitio.
VEREDA	Vereda	texto	50	No aplica	Nombre de Vereda
MUNICIPIO	municipio	Texto	50	No aplica	Nombre de Municipio
DEPARTAMENTO	depto	texto	30	No aplica	Nombre de Departamento
EXTENSIÓN	extension	Texto	100	No aplica	Extensión de la afectación,

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
					puede ser área, cantidad o valoración según se reportó en los insumos
SECTOR	sector	Texto	254	No aplica	Sector de la economía al que pertenece el presunto pasivo
ORIGEN DEL EVENTO	origen	Texto	100	No aplica	Origen o causa del evento según reporte en los insumos
CONTAMINANTES ORGÁNICOS	contam_org	Texto	100	No aplica	Contaminantes orgánicos identificados
CONTAMINANTES INORGÁNICOS	contam_ino	Texto	100	No aplica	Contaminantes inorgánicos identificados

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domino</u>	<u>Descripción</u>
AMENAZAS IDENTIFICADAS	amenaza	Texto	254		Amenazas identificadas, pueden ser incendios, deslizamientos, afectación de aguas...etc.
PRESENTA ANÁLISIS DE RIESGOS?	risk_asset	Texto	254		¿Presenta análisis de riesgos? (si, no, por definir, No presenta)
ALCANCE DE LAS ACCIONES	alcance	Texto	254		Alcance de las acciones (que herramientas activó el evento. PMA, PDC...etc.)
CUERPO DE AGUA RECEPTOR	receptor	Texto	50	No aplica	Cuerpo de agua receptor (Si se

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
					identificó y reportó)
IMPACTO A NIVEL DE SUELO	imp_suelo	Texto	254	No aplica	Impacto a nivel de suelo (Suelo, superficie, infiltración .otros)
CANTIDAD DE PERSONAS O VIVIENDA AFECTADAS	personas	Enter o corto	3,0	No aplica	Cantidad de personas o vivienda afectadas (Si se reportó)
BIODIVERSIDAD AFECTADA	biodivers	Texto	50	No aplica	Biodiversidad afectada (de forma general que cobertura afectó)
¿SE INTERVINO EL SITIO?	intervencion	Texto	254		¿Se intervino el sitio? (si, No, No disponible)

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
TÉCNICA DE INTERVENCIÓN APLICADA	tecnica	Texto	50	No aplica	Técnica de intervención aplicada (limpieza manual, PDC, otros)
FUENTE DE LOS DATOS	fuelle	Texto	50	No aplica	Fuente de los datos (institución responsable o quien suministró el dato)
ESTADO CONOCIDO DEL LUGAR O EVENTO	estado	Texto	254		Estado conocido del lugar o evento
LATITUD (WGS84)	latitud	Double	15,6	No aplica	Latitud (wgs84)*
LONGITUD (WGS84)	longitud	Double	15,6	No aplica	Longitud (wgs84)*

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domino</u>	<u>Descripción</u>
CALIDAD DEL DATO DE GEOREFERENCIACIÓN	calidad_geo	Texto	254		Calidad del dato de georeferenciación, (buena, muy buena, regular, mala, sin definir, es decir, si el dato fue suministrado directamente, ajustado o inferido por localización a centroide de municipio o vereda)
CÓDIGO DANE VEREDA	Cod_dane_ver	Entero corto	3,0	No aplica	Código Dane vereda, según los datos insumo.

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
OTROS	Otros	Texto	250	No aplica	Descripción de ubicación o tipo de evento.

Fuente: Apoyar la consolidación del inventario de pasivos ambientales de Colombia,

Minambiente 2018

Estos datos son el resultado del agrupamiento de diferentes fuentes de datos y la selección de campos tanto comunes a los datos, como campos que, aunque en el dato no existieran, para compatibilizar a una base superior se debían calcular o buscar mediante homologación o inferencia por cercanía. Así pues, los campos faltantes fueron los mencionados en la tabla número 3:

Tabla 3:

Tabla de decisión

<u>ALIAS</u>	<u>Nombre de campo en base geográfica o shape</u>	<u>Tipo de dato</u>	<u>Longitud/precisión</u>	<u>Domini o</u>	<u>Descripción</u>
--------------	---	---------------------	---------------------------	-----------------	--------------------

INSTRUMENTO AMBIENTAL	Inst_amb	Text	50	No aplica	Instrumento ambiental
VIGENCIA INSTRUMENTO AMBIENTAL	Vig_ins_A m	Fecha		No aplica	Vigencia instrumento ambiental
FECHA DE REGISTRO DEL EVENTO	Fec_reg	Fecha		No aplica	Fecha de registro del evento
RESPONSABLE DEL EVENTO	Respons	Text	1	No aplica	Responsable del evento
ACEPTA O NO LA RESPONSABILIDAD	Acepta	Text	1	No aplica	Acepta o no la responsabilidad
CUENTA CON RECURSOS	Rec_Econ	Text	1	No aplica	Cuenta con recursos
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGO	Riesgo1	Text	1	No aplica	¿Hay riesgo significativo?
EVALUACIÓN DETALLADA DE RIESGO	Riesgo2	Text	1	No aplica	¿Nivel de riesgo aceptable?
ESTADO DEL PROCESO	EST_PRO C	Text	1	No aplica	Estado del proceso

Fuente: elaboración propia.

Para efectos de análisis se procedió a la elaboración de dos tablas, la de datos y la de decisión, la primera contiene los datos de los eventos, (sin considerar los datos sobre el proceso de decisión y/o declaración como posible pasivo ambiental), la segunda contiene la información de decisión sobre los parámetros evaluados.

Elaboración esquema Entidad - Relación

Una vez desarrollado el algoritmo y definidas las tablas (Tabla 2 y 3), se plasmaron dichas relaciones en la forma de un diagrama entidad relación que permitió revisar las citadas conexiones entre datos de campos y tablas, relacionándolas como eventos y decisiones (Figura 4).

TB. EVENTOS

TB DECISIÓN

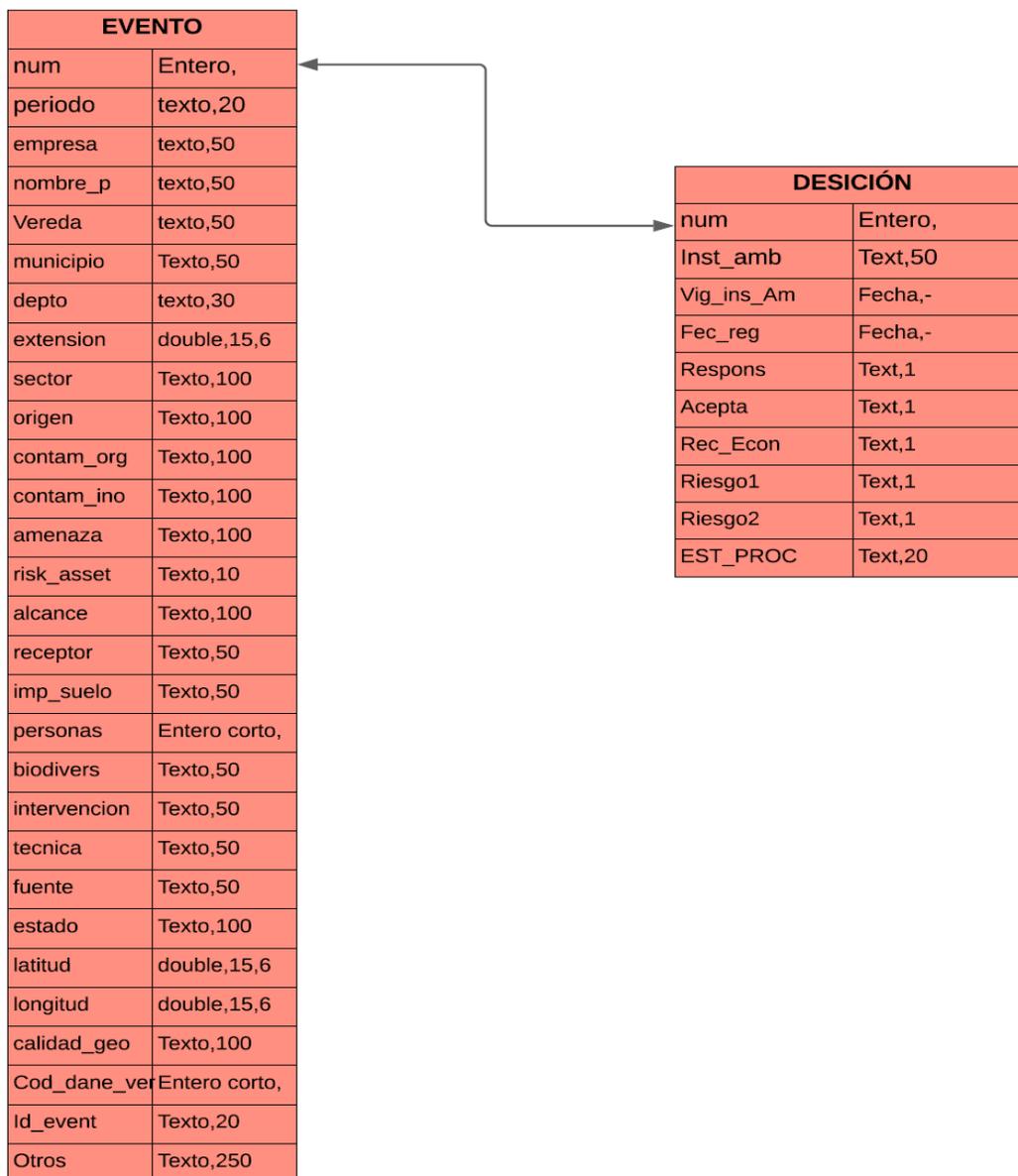


Figura 3. Esquema de relación de las tablas. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de Lógica

El procedimiento fue probado en escritorio mediante el seguimiento de los valores de quince registros seleccionados aleatoriamente aleatorios de la base de datos y se anotaban los elementos de decisión, sin que en ninguna de las pruebas efectuadas se encontraran divergencia a los valores calculados.

Determinación de la Plataforma

En el ambiente de trabajo se encuentran dos tipos básicos de plataformas de desarrollo en términos de su propiedad intelectual o derechos de uso; los llamados de “propietario” (o plataformas comerciales) y los “libres” (o plataformas Open Source), aunque en principio su diferencia se conoce por el pago por uso y/o servicios, en la realidad ambos tipos conllevan el pago de alojamiento de datos, capacidades de proceso y en general el uso de datos.

Los puntos principales de comparación entre alternativas fueron tres:

- 1) Valor económico del software - servicios y su disponibilidad en instituciones
- 2) Percepción sobre el conocimiento de las plataformas por los usuarios.
- 3) Diferencias en las capacidades de implementación, integración y uso.

Los siguientes paquetes informáticos se consideraron por categorías así:

- Para proceso y actualización: Suite ESRI, QGIS, GRASS, R, R Studio, Postgres SQL, Google Earth, OSgeo4W ...etc.

- Para servicio de mapas: ESRI y QGIS ONLINE, GeoServer, Mapbox.
- Revisión de paquetes: Suite ESRI: Para el caso presente se revisaron los componentes ArcGIS Desktop y ArcGIS Online.
- QGIS: Se revisaron los componentes QGIS Desktop y QGIS Cloud (Online).

Valor Económico y Capacidades De Implementación de los Paquetes

Informáticos

Las aplicaciones GRASS, R, R Studio, Postgres SQL, Google Earth y OSgeo4W son de uso gratuito, para QGIS Cloud y QGIS se presenta la siguiente tabla comparativa:

Tabla 4:

Comparación de características QGIS Cloud gratuito y pago

Característica	QGIS Cloud gratuito	QGIS Cloud Pro (Pago)
Cliente WebGIS activado / desactivado	no	Si
Cliente móvil activado / desactivado	no	Si
Acceso WMS protegido con contraseña	no	Si
Cliente WebGIS protegido con contraseña	no	Si

Característica	QGIS Cloud gratuito	QGIS Cloud Pro (Pago)
idioma predeterminado para Cliente WebGIS	Checo, holandés, inglés, finlandés, francés, alemán, húngaro, italiano, noruego, polaco, portugués, rumano, ruso, español, sueco, turco	Checo, holandés, inglés, finlandés, francés, alemán, húngaro, italiano, noruego, polaco, portugués, rumano, ruso, español, sueco, turco
Identificar modos	Top Most Hit, Active Layers, All Layers	Top Most Hit, Active Layers, All Layers
Tipos de búsqueda	busqueda OpenStreetMap	OpenStreetMap , GeoNames, búsqueda personalizable en base datos
Escalas fijas	Si	Si
Cliente WebGIS personalizable	no	Si
Administración de Usuario	no	Si
Numero de bases de datos	1 PostGIS 3.0 (50MB)	10 (500MB)
Edición en cliente WebGIS	no	Si
Espacio disponible para datos	50MB	500MB
Soporte SSL	Si	Si

Característica	QGIS Cloud gratuito	QGIS Cloud Pro (Pago)
valor	0	65 euro/mes (\$288.597 con TRM de \$4.439,96 por euro al 12-11-2021)

Fuente: <https://qgiscloud.com/pages/plans?locale=en>. Fecha consulta: 12-11-2021

Para ArcGIS Online y ArcGIS Desktop

Para ambos tipos de paquetes de programas, la nación cuenta con los llamados acuerdos marco de precios y más específicamente para el caso de los productos ESRI se cuenta con el acuerdo suscrito con ESRI COLOMBIA SAS para el suministro de servicios “ArcGIS” mediante la modalidad de agregación de demanda. Cada entidad del estado podría comprar dichos servicios en la llamada “tienda virtual del Estado” (<https://colombiacompra.gov.co/tienda-virtual-del-estado-colombiano/tecnologia/productos-y-servicios-arcgis>). De lo anterior y la orden de compra 61989 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible cuyo objeto era: “Contratar la actualización, mantenimiento y soporte técnico del Acuerdo Corporativo ELA con la empresa ESRI Colombia que incluye las licencias ArcGIS Desktop y sus extensiones, y el servicio de la plataforma ARCGIS ONLINE Y HUB, para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como apoyo en su gestión ambiental y de los recursos naturales renovables” se asegura la disponibilidad de dichos servicios en la institución a razón de \$990'000.000.00 de forma ilimitada.

Para el usuario general al 11-12-2021 el valor por cada 1000 créditos de ArcGIS Online era de U\$100 (\$387.900.00 con TRM de \$3.879,00 COP por dólar al 12-11-2021) y la licencia

de ArcGIS para uso personal no comercial también tiene un costo de U\$100.00 (\$387.900.00 COP) por un año (<https://www.esri.co/es-co/productos/arcgis-for-personal-use/inicio>).

La licencia para uso personal no comercial incluye los ítems mencionados en la tabla 5.

Tabla 5:

Características de licencia personal no comercial

CARACTERÍSTICAS DE LICENCIA PERSONAL NO COMERCIAL
ArcGIS for Desktop Advanced (ArcMap & ArcGIS Pro)
Extensiones de ArcGIS for Desktop: 3D Analyst, ArcGIS Data Interoperability, ArcGIS Data Reviewer, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Publisher, ArcGIS Schematics, ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Tracking Analyst y ArcGIS Workflow Manager
“Licencia a término por 12 meses” (No incluye actualizaciones)
Cuenta personal ArcGIS Online con 100 créditos Esri para almacenamiento de datos, acceso a datos de alta calidad, geocodificación y análisis.
Suite de apps, “Atlas Vivo del Mundo” (Living Atlas of the World) con mapas y datos
Soporte para la instalación y configuración del software.
Auto ayuda a través del sitio Web de Soporte y el Centro de Recursos

Fuente <https://www.esri.co/es-co/productos/arcgis-for-personal-use/inicio>. Fecha de consulta 01-11-2021

Percepción de los Usuarios

La percepción de los usuarios es una herramienta útil para la valoración de las competencias de los programas, en la página web <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> se detalla una comparación realizada mediante encuesta a dichos usuarios, las calificaciones generales por competencias se detallan en la Tabla 6 y también se realizan comparaciones más detalladas.

Tabla 6:

Comparación general ArcGIS -QGIS Cloud

Calificaciones	ArcGIS Online	QGIS
Ajuste a requerimientos	8,6/106	8,4/106
Facilidad de uso	8,3/107	8,1/106
Facilidad de instalación	8,6/46	9,1/18
Facilidad de administración	7,7/45	8,7/14
Calidad del soporte	8,4/100	7,5/86
Facilidad de hacer negocios con	8,4/45	9,0/15
Dirección del producto (% positivo)	8,8/104	8,8/103

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

La calificación presenta el promedio obtenido y la cantidad de usuarios que contestaron dicha pregunta. La percepción sobre los programas es que ArcGIS es ligeramente mejor en ajuste a requerimientos, facilidad de uso y calidad del soporte, pero es inferior en facilidad

de instalación, administración y facilidad de hacer negocios con él. Para ambos la percepción de la dirección hacia la que va el producto es igual.

En cuanto hace a la administración de los datos QGIS es un poco superior en tres de cuatro aspectos (Captura, almacenamiento y manipulación de datos) e igual en el de visualización (Tabla 7).

Para la creación de mapas ArcGIS es superior en geocodificación y consultas en zonas de búfer igual que para la publicación y es inferior en el análisis de traslapo (Tabla 8).

En la percepción sobre de facilidad de análisis espacial, reportes y transmisión en tiempo real, es superior el programa o paquete de programas de QGIS (Tabla 9).

Existen diferencias en la utilización de los programas dependiendo del tamaño empresarial que las requiere (Tabla 10), ArcGIS se emplea casi 1,54 veces más que QGIS en las empresas medianas, en tanto que, QGIS se usa en una proporción de casi 30% más que ArcGIS en empresas pequeñas. En empresas de más de mil empleados ambas soluciones tienen un uso igual (31,9%)

De acuerdo al sector de la economía que utiliza los paquetes informáticos (y que contestaron la encuesta) (Tabla 11), ArcGIS tiene una participación de un poco más del doble que QGIS en el sector de administración de gobierno (22,2 vs. 11,8%), en ingeniería civil y los servicios ambientales QGIS supero un poco al paquete ArcGIS, pero se destaca en el campo de la tecnología de la información.

Tabla 7:

Administración de datos por el programa SIG

Administración de datos por el programa SIG	ArcGIS Online	QGIS
Captura de datos	8,3/30	8,9/35
almacenamiento de datos	8,1/36	8,5/35
manipulación de datos	7,7/33	8,6/35
visualización de datos	8,8/36	8,8/35

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Tabla 8:

Creación de mapas por el programa SIG

Creación de mapas por el programa SIG	ArcGIS Online	QGIS
Geo-codificación	9,1/24	8,7/29
Consulta de zonas en búfer	8,8/26	8,6/30
Traslado (Overlaying)	8,7/31	9,1/34
Publicación	8,8/35	8,8/28

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Tabla 9:

Análisis por el programa SIG

Análisis por el programa SIG	ArcGIS Online	QGIS
Análisis espacial	8,4/32	8,8/33
Reportes	7,9/27	8,4/32
transmisión en tiempo real (R. T. Streaming)	8,0/20	8,2/17

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Tabla 10:

Tipo de compañía del encuestado

Tipo de compañía del encuestado	ArcGIS Online	QGIS
Pequeños negocios (<50 empleados)	27,8%	42,0%
Mediana (51-1000 empleados)	40,3%	26,1%
Grande (enterprise, >1000 empleados)	31,9%	31,9%

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Tabla 11:

Sector de industria del encuestado

ArcGIS Online	QGIS
Administración de gobierno 22,2%	Tec. de información y servicios 12,6%
Servicios públicos (utilities) 6,3%	Administración de gobierno 11,8%

ArcGIS Online	QGIS
Educación superior 6,3%	Ingeniería civil 10,1%
Servicios ambientales 6,3%	Servicios ambientales 9,2%
Ingeniería civil 6,3%	Investigación 8,4%
otros 52,8%	otros 47,9%

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Tabla 12:

Otras alternativas

ArcGIS Online	QGIS
MapInfo PRO (4/5)	ESRI ArcGIS (4,5/5)
Mapbox (4/5)	Google Maps API (4,5/5)
Google Earth Pro (4,5/5)	Google Earth Pro (4,5/5)
Google Maps API (4,5/5)	ArcGIS Pro (4/5)

Fuente: <https://www.g2.com/compare/arcgis-online-vs-qgis> al 10-11-2021.

Se referenció a Google Maps y Google Earth Pro como alternativas para ArcGIS y QGIS (Tabla 12) evaluando también sus calificaciones.

Como alternativa para ArcGIS se citaron a Mapinfo y Mapbox, pero no a QGIS; en tanto, para QGIS si se sugirió como alternativa los paquetes de ESRI (ArcGIS y ArcGIS PRO).

Las aplicaciones GRASS, R, R Studio, Postgres SQL, Google Earth y OSgeo4W, forman parte de soluciones que se pueden implementar; Aunque cada uno de ellos tiene sus particularidades, por ejemplo, GRASS forma parte del paquete QGIS, R y R studio se

enfocan principalmente en análisis de datos, Postgres se incluye en el paquete de QGIS Cloud, es decir, estas son soluciones parciales, están contenidas sus herramientas en QGIS o tienen su equivalente en herramientas de la casa ESRI.

Lo anterior, nos indicó que, en términos generales, tanto QGIS como ArcGIS Online son soluciones eficientes para el geoproceso y servicio de mapas; Igualmente, que en condiciones de trabajo con ambas soluciones se logran mapas, datos derivados y consultas de calidad comparable.

La disponibilidad de paquetes para los usuarios finales indicó igualmente que para el ente encargado de la determinación de los pasivos ambientales (MADS) el paquete completo ESRI estaba disponible para uso pleno. Para las entidades ambientales del territorio Nacional, se hallan igualmente disponibles en muchas de ellas las licencias del paquete ESRI y los paquetes de uso gratuito.

En cuanto al tema de disponibilidad para el uso en el presente trabajo de los paquetes, se tenía acceso por parte de las licencias académicas de la universidad Antonio Nariño al paquete completo de ArcGIS online y ArcGIS PRO e igualmente a los programas gratuitos.

Con dichas consideraciones: Acceso por entidad responsable, acceso para el estudio, relativa similitud de capacidades de implementación y en general lo relacionado anteriormente, se decidió realizar la implementación con la suite ESRI.

Implementación del Proceso

Model builder, Cálculo de campos según “Procedimientos de captura, proceso y consulta”

La automatización del llenado de la tabla de valores de decisión se realizó mediante Model Builder y sentencias en código VB (ordenes if then, else o elseif para este caso) (Figura 5).

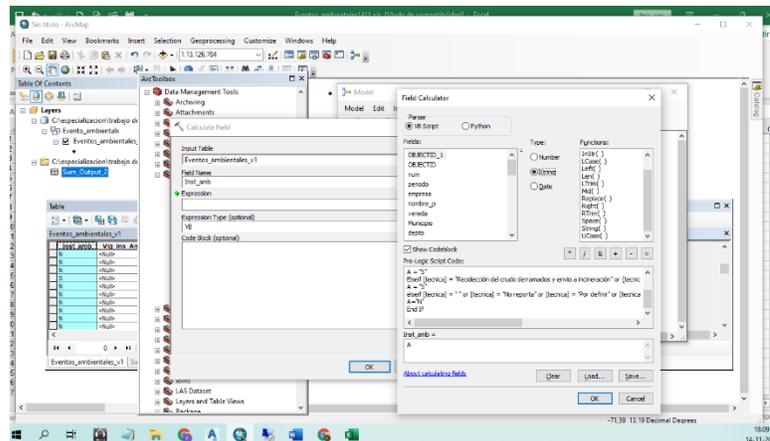


Figura 4. Elaboración en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

Se calcularon los valores del campo “Inst_amb” mediante las sentencias ilustradas en la figura 6.

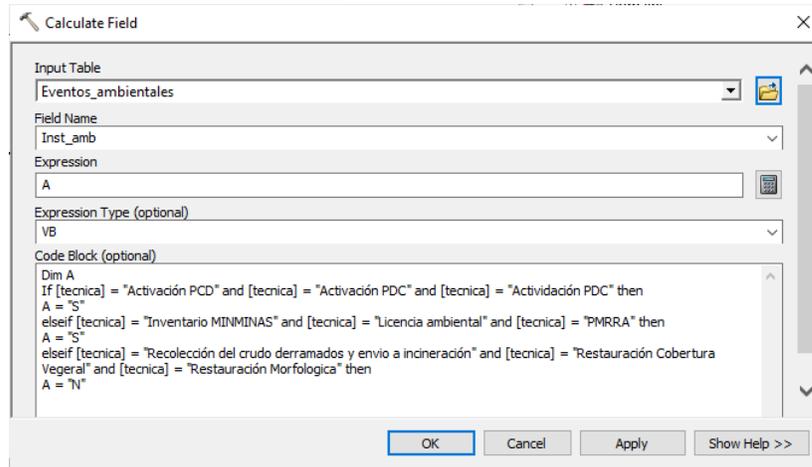


Figura 5. Ventana “Calculate field” con sentencias VB en el Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente es el código para el cálculo de los valores “Si” y “No” del campo Instrumento ambiental. En este campos el valor se calcula con base en las respuestas o instrumentos técnicos usados.

Dim A

If [tecnica] = "Activación PCD" or [tecnica] = "Activación PDC" or [tecnica] = "Activación PDC" Then

A = "S"

elseif [tecnica] = "Inventario MINMINAS" or [tecnica] = "Licencia ambiental" or [tecnica] = "PMRRA" Then

A = "S"

Elseif [tecnica] = "Recolección del crudo derramados y envío a incineración" or [tecnica] = "Restauración Cobertura Vegetal" or [tecnica] = "Restauración Morfológica" Then

A = "N"

```

elseif [tecnica] = " " or [tecnica] = "No reporta" or [tecnica] = "Por definir" or [tecnica]
= "Sin documentos administrativo de manejo y control ambiental" Then
A="N"
End If

```

Con este se calculó tanto en la ventana de cálculo de valores como en el model builder se obtiene la figura 7.

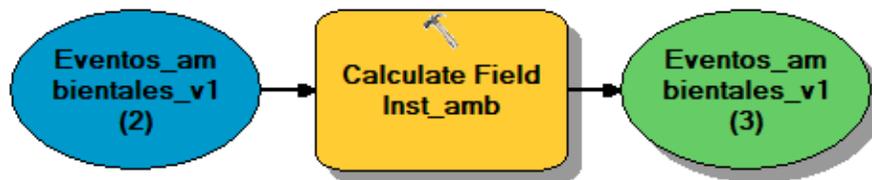


Figura 6. Cálculo de valores "Inst_amb" en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente es el código para el cálculo de los valores "Si" y "No" del campo "respons" ilustrado en la figura 8 y 9.

```

Dim R
If [Inst_amb] = "S" or [sector] = "Minería" or [sector] = "Minero - Carbon" Then
R = "S"
elseif [sector] = "Servicios Públicos - Aseo" or [sector] = "Residuos" Then
R = "S"
End If

```

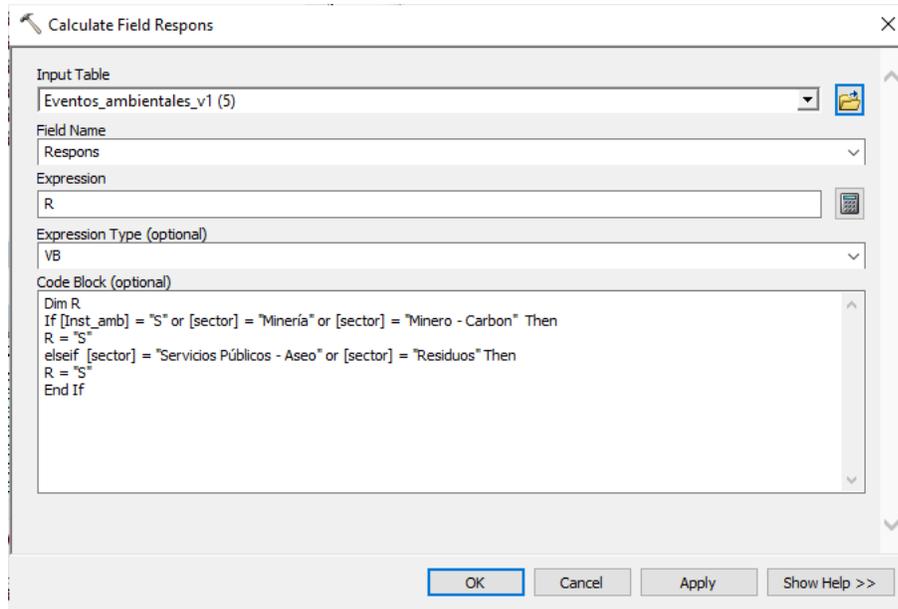


Figura 7. ventana N°2 “Calculate field” con sentencias VB en el Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

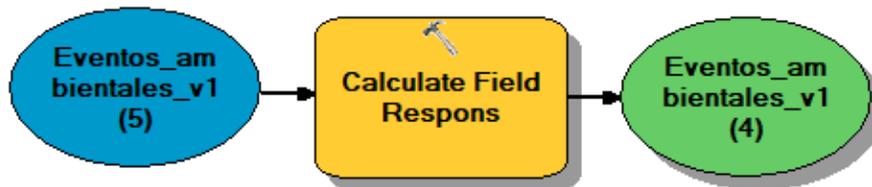


Figura 8. Cálculo de valores “Respons” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente es el código que fue realizado para el cálculo de los valores “Si” y “No” del campo “acepta”, el cual se representa en la ventana del Model Builder como se muestra en la figura 10.

Dim F

If [Inst_amb] = "S" or [sector] = "Minería" or [sector] = "Minero - Carbon" Then

F = "S"

elseif [sector] = "Servicios Públicos - Aseo" or [sector] = "Residuos" Then

F = "S"

End If

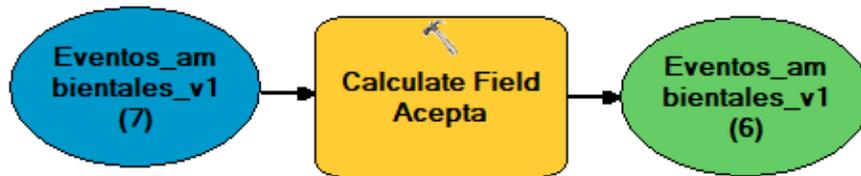


Figura 9. Cálculo de valores “Acepta” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se calculó el campo “riesgo1” y “riesgo2” con las siguientes sentencias las cuales tienen una sección correspondiente al modelo que se muestra en la figura 11:

Dim W

If [alcance] = "Análisis de Vulnerabilidad" or [alcance] = "Fase I y Fase II" Then

W = "S"

End If

Dim Q

If [alcance] = "Fase I y Fase II" Then

Q = "S"

End If

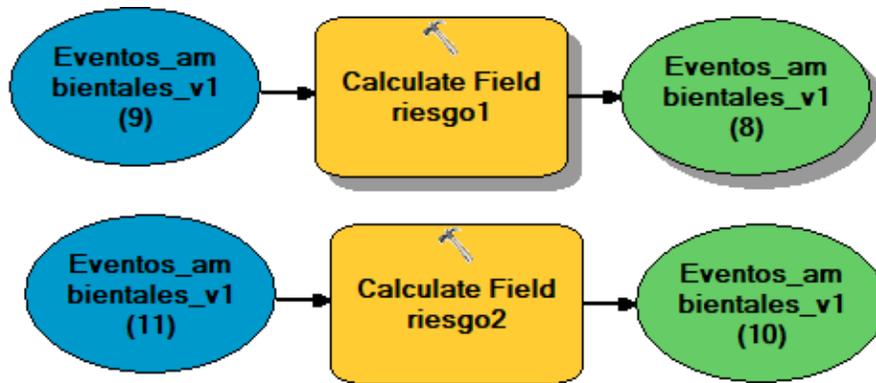


Figura 10. Cálculo de valores “riesgo1 y riesgo2” en Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

Carga de datos. Preparación mapas y salidas

Se realizó carga del Shapefile con los datos de 461 eventos ambientales en Colombia (Figura 12) y se creó el cuadro de mando apropiado para el desarrollo del trabajo (Figura 13).



Figura 11. “Shape” cargado en ArcGIS ONLINE. Fuente: Elaboración propia.

The image shows the 'Crear nuevo cuadro de mando' (Create new dashboard) form in ArcGIS Online. The form has the following fields:

- Título***: Evento Ambientales, susceptibles a ser catalogados como pasivos ambientales
- Etiquetas**: Evento ambientales X Pasivos ambientales X
- Resumen**: Evento Ambientales, susceptibles a ser catalogados como pasivos ambientales
- Carpeta**: jorrancho23_LUANGIS

At the bottom right, there are two buttons: 'Crear cuadro de mando' and 'Cancelar'.

Figura 12. Creación de cuadro de mando eventos ambientales. Fuente: Elaboración propia.

Sobre los datos ingresados tanto en Shapefile como en ArcGIS Online, se determinaron los valores de dominios apropiados para los campos, se incorporaron igualmente en la versión de trabajo en geodatabase (Figura 14). Los datos ingresados se usaron tanto en el tablero de control como en geovisor.

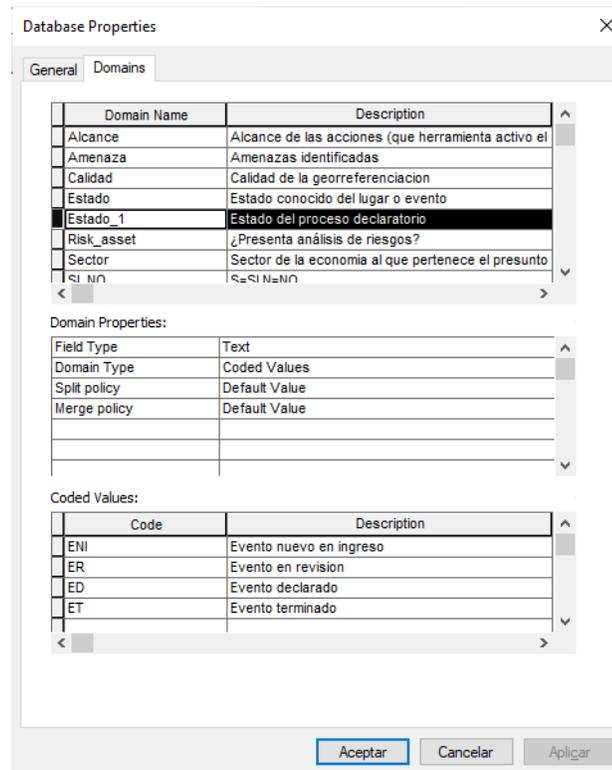


Figura 13. Imagen de la ventana de dominios de la geodatabase. Fuente: Elaboración propia.

Depuración de errores

A lo largo del proceso de elaboración se identificaron diversos inconvenientes, entre ellos:

Se presentaron tres episodios de intermitencia del servicio de carga en ArcGIS Online, sin embargo, el servicio se restableció rápidamente.

Al momento de realizar el cuadro de mando se generaban errores ocasionales, estos impedían visualizar las gráficas de series, se tornaban de un solo color, esto se resolvió al reingresar en la plataforma.

En dos ocasiones fue necesario volver a cargar el Shape file de los eventos ambientales debido a fallos de ArcGIS Online el cual bloqueaba los campos y no permitía su edición.

Al ingresar los campos en el orden de la tabla se observó falta de claridad, se corrigió el orden en el procedimiento de ingreso de los datos.

Por último, se corrigió un inconveniente al momento de capturar datos en el Field Maps, el cual igualmente bloqueaba la carga de los datos, se configuraron los campos y el orden de captura en ArcGIS Online.

Presentación de Resultados

A continuación, se presentan imágenes de los resultados obtenidos.



Figura 14. Cuadro de mando. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la Figura 15 el cuadro de mando presenta gran cantidad de información que puede definirse así:

- El mapa con los puntos clasificados de acuerdo con la leyenda.
- La leyenda con el origen de los eventos ambientales.
- El contador con el numero eventos registrados en la tabla de atributos el cual se va actualizando con los valores seleccionados en las ventanas de gráficos.
- El gráfico circular con el porcentaje de los eventos según su origen, el cual al seleccionar cada uno de los atributos muestra de manera grafica la ubicación en el mapa, los valores en contador y su respectivo porcentaje por sector que lo ocasiona en el gráfico de serie.
- El gráfico de serie con el porcentaje de eventos ocasionados por cada sector, que al seleccionar las barras de datos muestra de igual manera la ubicación en el mapa de

los eventos ambientales, además muestra el porcentaje de eventos según su origen y el número en el contador.

Dirección URL de aplicación DASHBOARDS:

<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/d5354460e2d34d68b11219523e95774b>



Figura 15. WEB APP BUILDER Geovisor elaborado. Fuente: Elaboración propia.

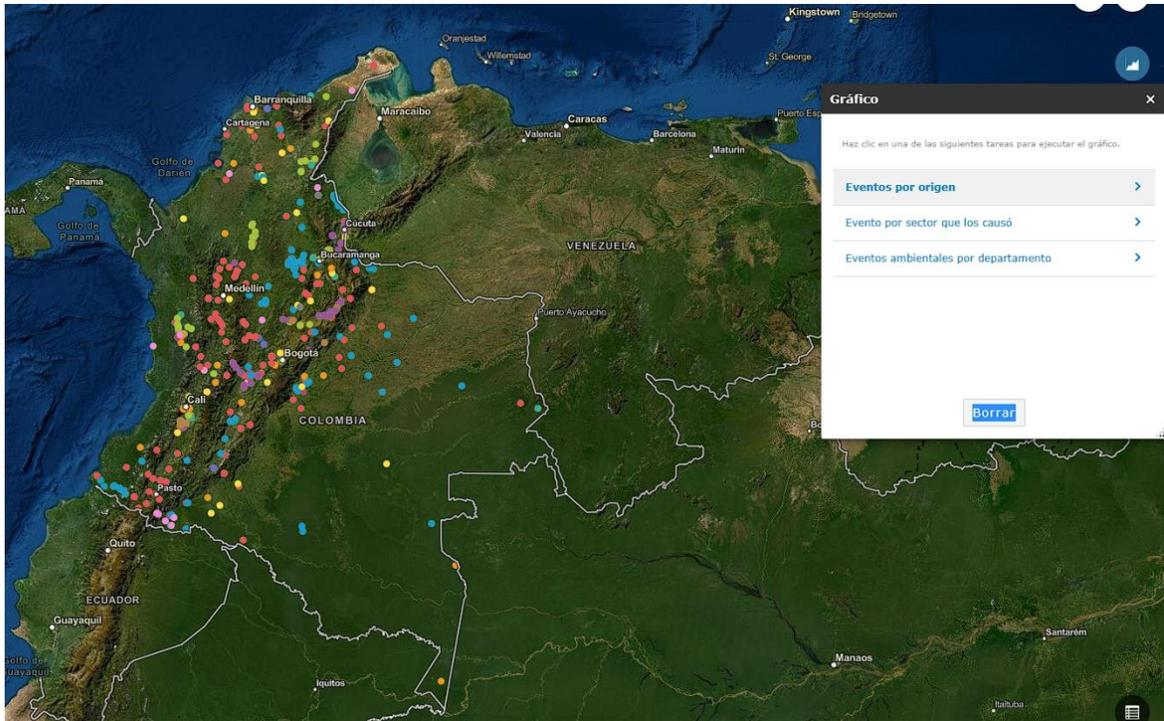


Figura 16. Iconos para realizar diferentes acciones en el Geovisor. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 17 corresponde a un Geovisor donde se observa el botón para despliegue de gráficos, que muestra las siguientes opciones:

- Gráfico de eventos por su origen.
- Gráfico de eventos por el sector que lo causó.
- Gráfico por eventos ambientales en cada departamento.

En tanto la Figura 18 ejemplifica el despliegue de la información de cada uno de los puntos equivalentes a cada evento ambiental.

Se optó por la utilización del software Field Maps de la suite ESRI para toma y captura de datos de los diferentes eventos ambientales, así como se muestra en la Figura 19.

Se realizó la asignación de dominios para facilitar la captura de datos en campo mediante la aplicación móvil (Figura 20 y 21).

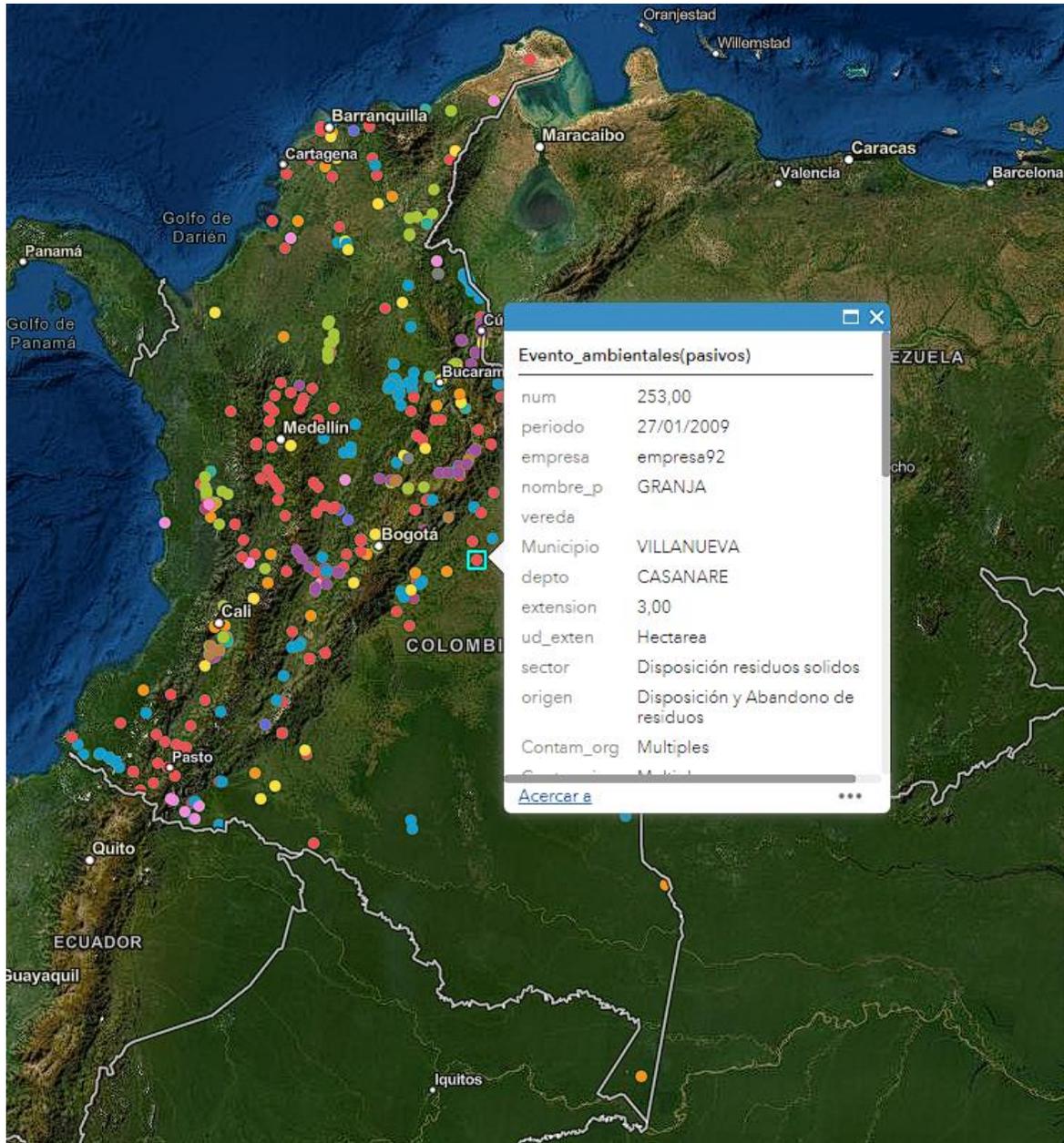


Figura 17. Despliegue de datos de cada punto. Fuente: Elaboración propia.

Dirección URL de aplicación WEB APP VIEWER:

<https://uanguis.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=0f3bb5196f6243ad867>

[84e24eb101ce4](#)



Figura 19. Captura de pantalla N°1 de celular con la aplicación. Fuente: Elaboración propia.

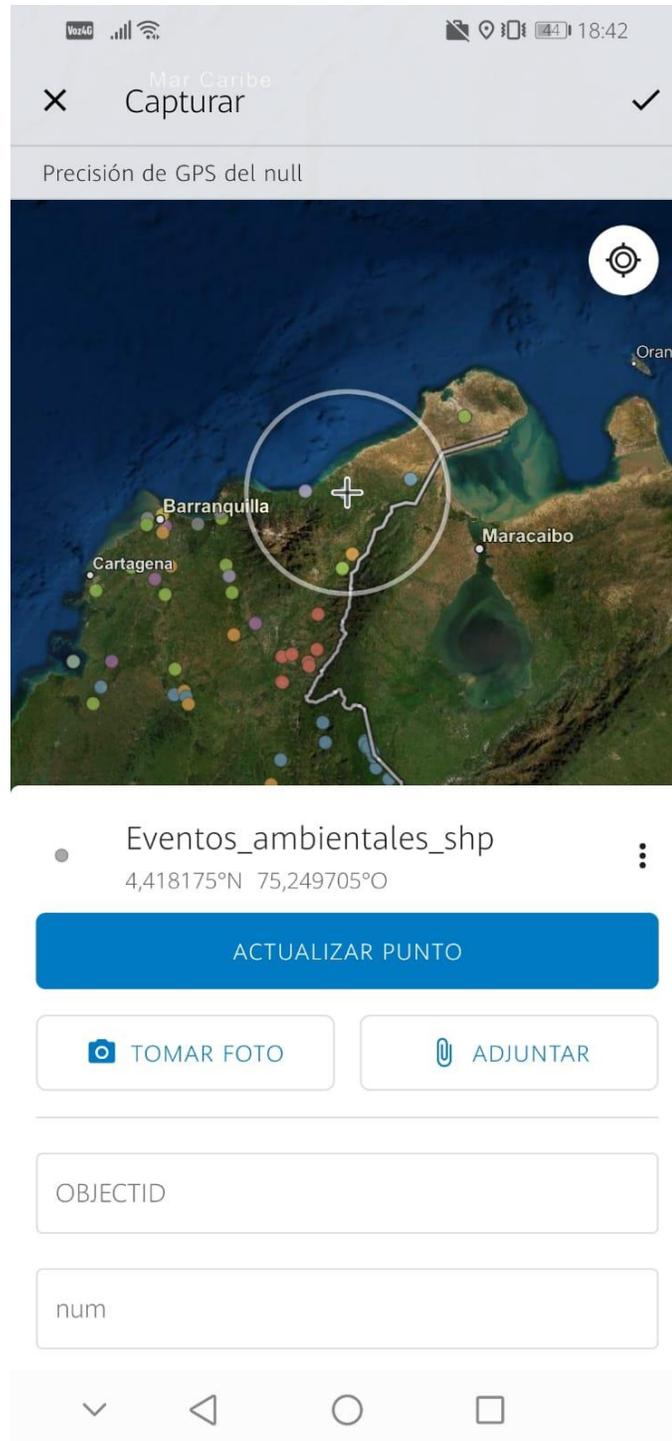


Figura 18. Captura de pantalla N°2, aplicación de captura de datos. Fuente: Elaboración propia.

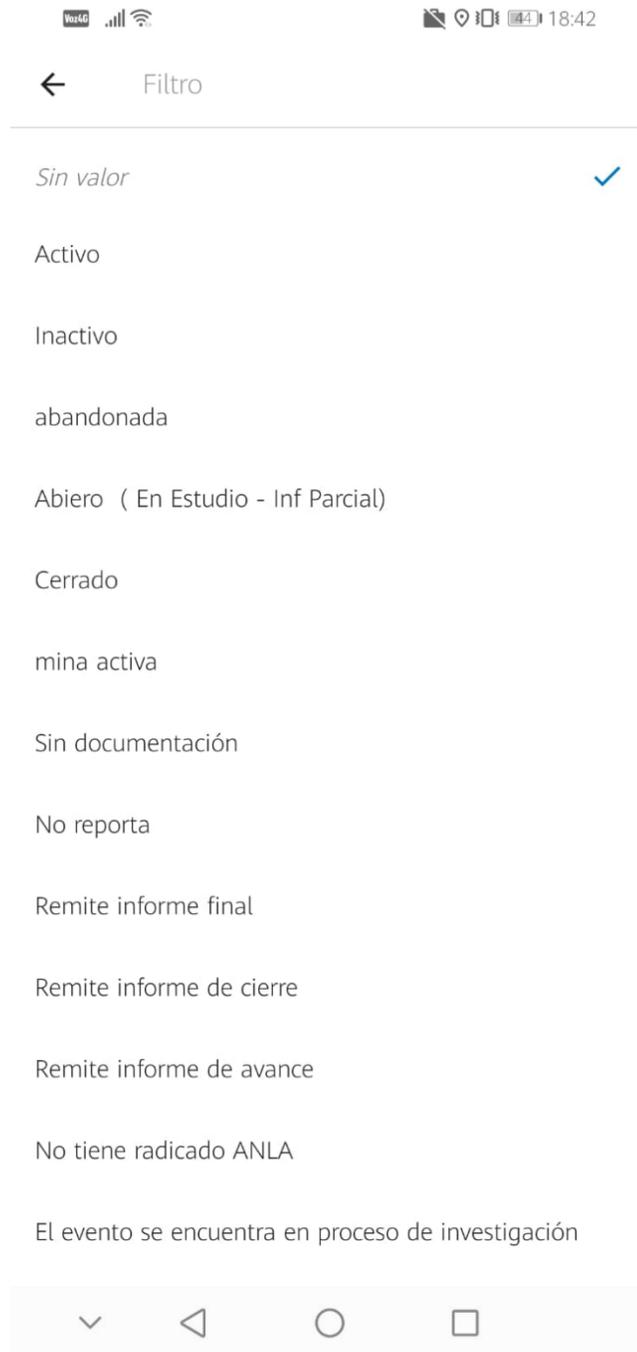


Figura 19. Captura de pantalla N°3 Dominios en la tabla de datos. Fuente: Elaboración propia.

Análisis

En el presente trabajo el enfoque de base correspondió a la aplicación de conceptos y herramientas a la solución e implementación de un sistema de información geográfica que pudiera tomar los datos del consolidado, ingresarlos en diferentes plataformas informáticas y con ello lograr una solución integral para la categorización de los eventos susceptibles de ser declarados como pasivos ambientales, además de permitir la edición y captura de nuevos datos.

Los resultados del proceso fueron a saber:

Muestreo de base de datos del proceso de consolidación de los eventos ambientales susceptibles de configurarse como pasivos ambientales. Este producto se modificó para eliminar los datos sensibles como nombres de empresa (o reemplazarlos con elementos “genéricos” como “empresaxxx”) y otros que pudieran significar la revelación de datos importantes.

Con la modificación se obtuvo una base reducida, pero que representó el conjunto general de datos y conservo de maneral ajustada los atributos a tratar en el proceso de categorización. Lo anterior, pues la orientación pedagógica del presente trabajo no requería la publicación o revelación de datos, sino la determinación de procesos y herramientas en condiciones lo más cercanas a la realidad posible. Con dichos datos se pudo proceder a el diseño de los procesos y la calificación de los valores.

Otro de los resultados del proceso correspondió a la elaboración de una interfase de captura y/o edición de datos sobre la plataforma de ArcGIS Online y más específicamente al uso de la aplicación Field Maps. En esta se usó el shape file ingresado, se adicionaron dominios y realizaron ajustes a los valores de tabla necesarios.

Se generaron un tablero de control y un geovisor para la visualización y consulta de los datos, es decir estas herramientas hicieron uso de los mismos datos que Field Maps y por tanto los cambios que se realizaren con éste se reflejan de forma directa en los tableros de control y el geovisor.

Cada uno de los pasos ingresó datos y presentó diferentes grados de dificultad que se sobrepasaron o fueron resueltos.

Conclusiones

Se logró describir el flujo de información y decisiones para declarar un evento como posible pasivo ambiental acorde a lo delineado por el MADS y se plasmó en la forma de elementos geográficos en las herramientas de ArcGIS Online (Tablero de control, geovisor y captura – edición en Field Maps).

Se realizó el diseño del esquema de datos y el sistema de captura, almacenamiento y recuperación de los mismos a partir de la información existente de incidentes ambientales.

Se logró implementar un piloto de categorización con los datos muestrales para un total de 461 puntos, este se realizó mediante la automatización usando Model Builder y código Visual Basic.

Se observó que el proceso no es difícil, pero, dadas las condiciones intrínsecas de la calidad de la información, la protección de los implicados en los procesos y que esta información incide sobre resultados legales y de presupuesto con determinantes económicos, sociales y ambientales, se debe manejar con sumo cuidado y garantizar su trazabilidad y calidad.

Una porción de la suite ESRI, App Builder y Dashboards, productos que se encuentran incluidos en el paquete ArcGIS online fueron utilizados para el desarrollo de este trabajo y debido a su facilidad de uso permitieron en gran medida la carga, procesamiento y captura de datos.

La decisión sobre el uso de herramientas informáticas de “propietario” o “libres” corresponde en buena medida a consideraciones muy personales sobre atributos de cada una

como el soporte y otros, pero en lo revisado para el desarrollo del presente trabajo, se evidencio que con ambos tipos de herramientas se pueden lograr resultados similares.

En términos económicos, para usuarios institucionales se facilita el acceso a los servicios de la casa ESRI y los costes son parte del funcionamiento o están cubiertos por los convenios activos. Igualmente, los funcionarios de las citadas instituciones pueden integrar dichos servicios en soluciones web y definir roles para su visualización, edición y otros.

Con procesos relativamente sencillos se pueden lograr resultados útiles en la visualización y análisis de temas como los pasivos ambientales. La implementación de procesos de este estilo haría más accesibles los datos y sobre todo más entendibles para su uso y divulgación.

Una implementación como la llevada a cabo haría posible la unión de datos de diversas fuentes con pocos pasos, pero, se requiere el desarrollo de protocolos normalizados como los elaborados por las IDE.

Recomendaciones

Consideramos que en las instituciones Nacionales, Regionales y locales que deben tratar el tema de eventos ambientales (y sobre todo si estos serán reportados a instituciones de mayor jerarquía) sus funcionarios y contratistas podrían beneficiarse de capacitación en temas relacionados con los sistemas de información geográfica.

Igualmente consideramos que como país el conocimiento y divulgación de tecnologías como los sistemas de información geográficos se debe fomentar desde las universidades en los primeros semestres

Consideramos también que se podría hacer un balance entre el uso de software de propietario y el software abierto para lograr integración de datos entre usuarios particulares y los datos aportados por las instituciones

Se podría revisar el contenido de los datos y efectuar la integración con otras instituciones (para el llenado de la base de datos) con una periodicidad de dos veces al año o más si se logran mejores entendimiento y estandarización en los campos y protocolos de manejo de estos o en el fortalecimiento de las IDEs y su interconectividad.

Referencias

- Alier, D. R., & Martínez, J. (2002). Los pasivos ambientales. 107-112.
- Charreire, M. (2021). Should environment be a concern for competition policy when firmsface environmental liability? *International Review of Law and Economics*.
- Congreso de la República de Colombia. (5 de Agosto de 2021). *Secretaría General del Senado*.
Obtenido de <http://www.secretariasenado.gov.co/index.php/constitucion-politica>
- Correa-García, E. (2018). Territorial transformations produced by the sugarcane agroindustry in the. *Land Use Policy*.
- Díaz, J. S., Montalvo, C. T., & Andalia, R. C. (2009). Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. *ACIMED*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100007
- Espinoza Quiroz, L. L. (2019). *Aplicacion de un sistema de información geográfica para la identificación de pasivos ambientales del subsector hidrocarburos en el peru para el año 2013*. Lima.
- ESRI. (2022). *AEROTERRA*. Obtenido de <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion#liSwitcher>
- Feichtner, I. (2020). Contractor liability for environmental damage resulting from deep seabed mining activities in the area. *Marine Policy*.
- García, G., Grisales, L., Londoño, J. E., Lozano, A., Marulanda, I., Ortega, T., & Sanguino, A. (2021). *Congreso de la República de Colombia*. Obtenido de <https://www.camara.gov.co/pasivos-ambientales-1>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *MinAmbiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sostenibilidad-sectores-productivos/pasivos-ambientales>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (s.f.). *Definición de Herramientas de Gestión de Pasivos Ambientales*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (s.f.). *MinAmbiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sostenibilidad-sectores-productivos/pasivos-ambientales>
- Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética. (2001). *Valoración de Pasivos Ambientales en Colombia, Énfasis Sector Eléctrico*. Bogotá.
- Molina, A. M., López, L. F., & Villegas, G. I. (Noviembre de 2005). LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA PLANIFICACIÓN MUNICIPAL. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 21-31. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n4/n4a03.pdf>
- Presidencia de la República de Colombia. (24 de Junio de 2021). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- Rodríguez-Zapata, M. A. (2021). Environmental liabilities in Colombia: A critical review of current status and challenges for a megadiverse country. *Environmental Challenges*.
- Sierra, H. F., Vega, M. E., & Castellanos, P. M. (2020). *Medio Ambiente y Sostenibilidad: Restos y desafíos desde las interdisciplinariedad*. Tunja, Boyacá, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32499/Medio%20Ambiente%20y%20Sostenibilidad%20->

%20Retos%20y%20Desafios%20Desde%20la%20Interdisciplinariedad_.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=128

sostenible, M. d. (2015). *Diseño de una estrategia para la gestión integral de los pasivos ambientales*. Bogotá.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2012). *Plan Nacional de Desarrollo Minero al 2014*. Bogotá.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). *Estrategia regulatoria para la intervención de áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono*. Bogotá. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Estrategia_para_intervencion_de_areas_afectadas.pdf

Valve, H. (2022). The co-evolution of policy realities and environmental liabilities: Analysing the ontological work of policy documents. *Geoforum*.

Yi, Y. (2020). Environmental pollution liability insurance to promote environmental risk management in chemical industrial parks. *Resources, Conservation & Recycling*.