

PROCEDIMIENTO PARA DIAGNÓSTICO Y PREVENCIÓN EFICIENTE DE INUNDACIONES

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención está enmarcada en el campo técnico de procesos para simulación y predicción de acontecimientos catastróficos tipo inundaciones, mediante la integración del conocimiento social de una región determinada y la información técnica mediante el uso de aplicaciones tecnológicas disponibles, como instrumento para la gestión del riesgo de inundaciones.

Se refiere a los mecanismos de planificación territorial, y más específicamente, al diagnóstico, mitigación y prevención de los impactos por riesgo de inundaciones en centros urbanos utilizando herramientas tecnológicas para la creación de ambientes de intercambio e interpretación de información de actores sociales, técnicos y político así como para la construcción de escenarios de riesgo de inundación que permitan la toma de decisiones a partir de información técnica e información experiencial.

ESTADO DE LA TÉCNICA

La prevención de eventos extremos naturales es un campo interesante, e indispensable ya que poder prevenir acontecimientos catastróficos permite salvar vidas y evitar cuantiosas pérdidas económicas, y pérdida de productividad y autonomía de la población local, especialmente en países que cuentan con grandes recursos hídricos, que se pueden convertir fácilmente en riesgos y perjuicios. Por tanto, este campo representa un reto para la ciencia, toda vez que las condiciones ambientales, geográficas y sociales cambian continuamente en el planeta haciendo cada vez más difícil la predicción acertada de acontecimientos naturales de tipo catastrófico, por ejemplo, inundaciones, tsunamis, terremotos, vendavales, etc.

En el estado del arte se conocen documentos en el área de las patentes, que implementan métodos y sistemas que ayudan a dichas predicciones, es el caso por ejemplo, de la patente US 2014004883 la cual divulga un método y un sistema para solicitar de forma remota una determinación de zona de inundación a partir de un dispositivo móvil tal como un teléfono inteligente, en donde el método se basa en el uso del receptor GPS en el dispositivo móvil para determinar la latitud y longitud exactas de la ubicación del usuario, eliminando de esta forma la necesidad de realizar geo-codificación, eliminando errores introducidos por la entrada de datos manual, y eliminando la necesidad de procesos de determinación manual que consumen tiempo, por ejemplo, para ubicaciones dirigidas no estándar y para estructuras ubicadas cerca de una zona de inundación de periodos de retorno de lluvias de 100 años.

De otra parte, el documento CN104615845 enseña un método de análisis de riesgo de inundación supercrítica, que comprende de manera general determinar la descarga supercrítica de altos volúmenes de agua en la llanura de inundación para mediciones de diferentes proyectos; y establecer una función de inferencia difusa para la estimación de riesgo de inundación para medidas de diferentes proyectos.

La patente US 2016063635 divulga un método, sistema, aparato y medio de almacenamiento legible por computador para tomar la información relacionada con una estructura de propiedad específica, incluyendo información de cliente; información relacionada con usos de propiedad (residencial, industrial, comercial, espacios habitables, etc.); información de elevación, inclinación y grado; datos de elevación de inundación base; profundidad de inundación; uso de dispositivos de mitigación de inundación; información de encuestas; el uso de profesionales de diseño en mitigación de riesgo; y otros asuntos; y se utiliza esta información para identificar los medios de reducir el riesgo, incluyendo el uso o reposicionamiento de dispositivos de mitigación de inundación; refuerzo de estructuras, uso de profesionales de diseño, y otros asuntos, con el fin de evaluar y mitigar el riesgo.

Por su parte, el documento de patente CN 105741045 se relaciona con un sistema y método para análisis dinámico de riesgo de inundación y usado para establecer en tiempo real el análisis y visualización dinámica de riesgo de inundación para un usuario, especialmente en el campo de los computadores. Así, en el método, cuando se establece el análisis en tiempo real del riesgo de inundación, se establecen un sub-sistema de análisis dinámico de riesgo y un sub-sistema de visualización en tiempo real de riesgo con base en el sistema. En primer lugar, se establece un modelo de datos, la interacción de datos entre las diferentes capas se puede lograr por medio de un servicio basado en Web, y luego se realiza la visualización dinámica al usuario por medio de la unidad de visualización en tiempo real del riesgo de inundación con base en FLEX. Mediante el uso del método, se mejora la eficiencia de computación del software de modelo de simulación de mapa de riesgo de inundación.

De esta forma, aunque en el estado de la técnica ya se implementan métodos y sistemas que ayudan a predecir y prevenir desastres naturales, existe aún la necesidad de implementar sistemas y métodos para la predicción de catástrofes tipo inundación. Además, se requiere de sistemas y métodos que puedan integrar el conocimiento tradicional de las personas que habitan una región considerada en riesgo, con la información técnica y las redes sociales y aplicaciones (App's) disponibles para crear un procedimiento de diagnóstico y prevención robusto que permita prevenir de manera eficiente catástrofes relacionadas con inundaciones.

En este sentido, la presente invención proporciona un proceso para simulación y predicción de acontecimientos catastróficos tipo inundaciones, planificación territorial, y más específicamente, al diagnóstico, mitigación y prevención de los impactos por riesgo de inundaciones en centros urbanos utilizando herramientas tecnológicas para la creación de ambientes de intercambio e interpretación de información de actores sociales, técnicos y político así como para la construcción de escenarios de riesgo de inundación que permitan la toma de decisiones a partir de información técnica e información experiencial. Adicionalmente, el procedimiento de diagnóstico y prevención que permita prevenir de manera más eficiente las

catástrofes relacionadas con inundaciones en comparación a los sistemas y métodos que se encuentran en el mercado actualmente debido al modelo de simulación y la información técnica que se usaron.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra el esquema general del procedimiento para el diagnóstico y prevención eficiente de inundaciones de la presente invención (013), obtención de la información primaria y secundaria de la zona de estudio (014), proceso de transformación y estructuración de información (015), simulación de inundación con la información obtenida (016). Incorporación de resultados de la simulación en un Sistema de Información Geográfico (SIG) en plataformas web (017). Incorporación de información adicional y consulta al SIG por usuarios externos por medio de dispositivos digitales.

La Figura 2 ilustra un esquema más detallado del procedimiento para el diagnóstico y prevención eficiente de inundaciones de la presente invención (001), proceso para la caracterización y definición del área de estudio (002), proceso para la obtención de información técnica en campo y documental (003), proceso para la obtención de información social (empírica) de las características de campo de la zona de estudio (004), integración de la información técnica y social hacia la construcción de escenarios de riesgos de inundación, cuyos resultados se incorporan en plataformas virtuales para la consulta y retroalimentación por usuarios externos.

La Figura 2A ilustra la integración de información de las diferentes fuentes (005) en una base de datos que almacena y estructura la información. La información recolectada es utilizada en (006) para realizar simulaciones de inundación en la región de estudio. Los resultados de la simulación son integrados en cartografía digital (007) y colocada en una interface por ordenador que permita su acceso y consulta (008).

La Figura 3 ilustra el esquema de gestión de información técnica cuantitativa de acuerdo con el procedimiento de la presente invención. En ésta se observan: el listado de conceptos técnicos de la cuenca (010), representados por medio de imágenes a los cuales la comunidad debe colocarles nombre, según su conocimiento, el listado de conceptos técnicos que integran una cuenca hidrográfica (009), a los cuales la comunidad debe describir su significado según su conocimiento.

La Figura 4 representa un grafo, en el cual se desglosan los términos asociados a un término central (nodo) (011), respecto a términos intermediarios (012) expresados por la comunidad (nodos secundarios e intermediarios).

La Figura 5 es una representación gráfica de los niveles de lluvia observados por la comunidad (percepción), representados por histogramas. El eje Y izquierdo representa la cantidad de lluvia en milímetros, respecto al eje X, (meses del año),

En la Figura 6, se observa el perfil del terreno mediante un SIG en el cual se han ubicado espacialmente asentamientos de la comunidad, con el cual se determinan los porcentajes de pendiente según su ubicación.

En la Figura 7, se observa el método topográfico para la obtención de perfiles del río (batimetrías), determinando la profundidad y ancho del cauce. Además, se observan las características que incluye el software de simulación de inundaciones, en el cual se integran los datos batimétricos, elevación del terreno, caudales, y la presentación de la simulación por perfiles del río.

La Figura 8, es una presentación espacial en el SIG de los resultados de la inundación identificando polígonos de afectación según periodos de retorno, integrados en el software de inundación.

En la Figura 9, se observan los resultados de la simulación una vez realizada la interface entre el software para simulación de inundación y el SIG, hacia el portal web para la visualización final por parte de los usuarios.

En la Figura 10, se observan las opciones dentro del portal web, en el cual el usuario puede diligenciar un cuestionario sobre las variables de caudal, pendiente, precipitación, y cauce del río, realizando un registro de eventos temporales (semanales o mensuales) en un punto determinado sugerido por el SIG (ej: lugar cercano al cuerpo de agua estudiado).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

El procedimiento o proceso para el diagnóstico y prevención eficiente de inundaciones de acuerdo con la presente invención, consta de 5 partes fundamentales dirigidas hacia la gestión de información para la construcción colectiva de conocimiento referente a eventos hidrológicos y de inundación a partir de la percepción ciudadana. Con este proceso la percepción subjetiva ciudadana se convierte en objetiva y cuantitativa.

Comprende una primera fase o etapa en la cual se centra en procesos de selección de áreas de estudio **(001)**, utilizando herramientas tecnológicas como Sistemas de Información Geográfica, cartografía temática referente a eventos de lluvias y zonas de riesgo; adicionalmente se establecen estrategias para la búsqueda de actores comunitarios, técnicos, y gubernamentales con los cuales se construyen conjuntamente escenarios de riesgos de inundación, para su posterior publicación en portales web interactivos (SIG virtuales), para su consulta y retroalimentación.

La segunda etapa comprende la gestión de información de carácter técnica **(002)**, que a su vez comprende la realización de la búsqueda de datos en fuentes de información institucional, específicamente en instrumentos de planificación territorial de carácter local, regional y nacional.

La tercera etapa comprende obtención de información de carácter cualitativa **(003)**, que comprende la implementación de metodologías en las cuales se busca una línea base de conocimiento tácito de la comunidad referente a los componentes que integran los eventos de inundaciones, como son las características de una cuenca hidrográfica y variables hidroclimáticas desde su percepción experiencial en el territorio.

La cuarta etapa, se centra en la integración del conocimiento experto **(004)** (cuantitativo), con el conocimiento comunitario (cualitativo), con herramientas de las Tecnológicas de la Información y Comunicación (TIC), hacia la construcción de escenarios de riesgos de inundación.

La quinta etapa, incorpora los resultados obtenidos en portales web, y distribuye la información para su posterior consulta. Adicionalmente, el portal web, permite anexar información en tiempo real por parte de las personas que consultan el portal, retroalimentándolo, generando una base de información para estudios posteriores por partes de los actores interesados.

A continuación se describe cada una de las etapas del procedimiento para diagnóstico y prevención eficiente de inundaciones de acuerdo con la presente invención.

Etapas 1: Identificación de áreas de estudio

La identificación de lugares de estudio **(001)** se definen con análisis cartográfico de los instrumentos político administrativos como por ejemplo los Planes de Ordenamiento Territoriales (POT) y los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) **(005)** en un software para el análisis cartográfico y construcción de Sistemas de Información Geográfica, por ejemplo ArcGis o Google Earth, o cualquier software o aplicación que se caracterice por tener interfaces para la visualización de SIG en línea **(006)**, en los cuales se delimitan las zonas de riesgos de inundación, asentamientos urbanos, y población en condición de vulnerabilidad por medio de la superposición cartográfica en un Sistema de

Información Geográfica (SIG). Una vez establecida el área de interés, se realiza una búsqueda de antecedentes de eventos naturales por desbordamiento en bases de datos institucionales (estaciones climatológicos, cartográfica temática, etc.), así como la prensa oficial e independiente.

Identificación de actores clave. (001).

Se realiza una búsqueda de grupos o actores en redes sociales utilizando palabras claves como nombre del municipio o sector identificado en el SIG, términos ambientales, y nombre de sistemas hídricos principales o cuencas hidrológicas (Ej: Nombre del municipio + Nombre del Río + Colectivo ciudadano... etc.), identificando actores o grupos poblacionales que trabajan en la materia. Los actores encontrados en las búsquedas se clasifican en los siguientes grupos poblacionales:

1. Individuos líderes en procesos sociales
2. ONG, Colectivos, u organizaciones sin ánimo de lucro.
3. Entidades gubernamentales de carácter local, regional, nacional e internacional.

Una vez identificados los actores, se convoca a la comunidad y se socializan los instrumentos técnicos gubernamentales de ordenamientos territoriales disponibles, así como las variables hidráulicas. Se utilizan presentaciones y cartografía en físico o digital (mesas de discusión) con la comunidad, para identificar su conocimiento del territorio (aproximaciones empíricas), encontrando un punto de coincidencia en mapas con información técnica e información experiencial.

Etapas 2. Gestión de datos técnicos de campo (002)

Teniendo como referencia los POT y POMCA, se realiza búsqueda de datos técnicos sobre precipitación, pendientes, sistemas hídricos y sus características (caudales, y áreas de cauces), y su respectiva cartografía de soporte en los capítulos de *diagnóstico* consignados en estos documentos gubernamentales.

Etapas 3: Gestión de la información de carácter cualitativa

Gestión y construcción de datos por parte de actores gubernamentales (003)

Identificación de conceptos técnicos asociados con lenguaje popular. (Analogías y la semiótica de las imágenes)

Se elabora un cuestionario con preguntas asociadas a las características de una cuenca como son las pendientes, precipitaciones, caudales, áreas del cauce, características del suelo, vegetación, y llanuras de inundación., por medio de imágenes asociadas a la misma, y tomando en consideración bases monosémicas y gramaticales.

El cuestionario se elabora en tres fases (009).

1. Identificación de variables del territorio (pendiente, área del cauce, precipitación) por medio de ubicación de las mismas en un gráfico de una cuenca hidrográfica (010).
2. Clasificación y asociación entre la identificación de las variables del territorio y la descripción de las mismas por parte de la comunidad (009).

En la Figura 3, se observa, un listado de conceptos técnicos de las cuencas hidrográficas (009), para ser asociados con la de los de la representación gráfica de los conceptos técnicos (010).

Finalmente, con la información recopilada, se elabora un listado de conceptos y su asociación gráfica establecida por la comunidad. A partir de los resultados obtenidos se realiza un análisis utilizando el método de grafos, siendo un grafo un conjunto, no vacío, de elementos denominados vértices (o nodos) y una selección de pares de vértices que pueden ser orientados o no. Este método permite definir unificar los términos técnicos con la información experiencial de la comunidad (012).

En la fase 2 (010), se muestran imágenes de los conceptos sin etiquetas. Posteriormente se muestran textos de términos técnicos mostrados en imágenes, para que los describieran con sus palabras, y un tercer momento consistió en asociar las imágenes con los textos de los términos expresados.

Asociación de términos técnicos con terminología popular. Metodología de grafos.

Se realiza análisis de grafos, siendo un grafo un conjunto, no vacío, de elementos denominados vértices (o nodos) y una selección de pares de vértices que pueden ser orientados o no (Windows, 2004: 49).

Para este caso, el grafo se construye a partir de un término técnico central, del cual se desglosan los nodos, que representan los conceptos que de acuerdo a su definición se relacionan con el término técnico central. Dentro del grafo construido, se identifican los términos utilizados por la comunidad estableciendo el número de nodos (términos intermedios) entre la palabra central (técnica), y los conceptos de la comunidad.

El grafo puede ser construido con apoyo de herramientas de análisis como por ejemplo el software **EcoLexicon**, (012) en el cual se visualiza por medio de grafos, la relación entre una palabra (variable), y su relación entre los términos utilizados por las personas (nodos).

Como resultado se identifican los términos expresados por la comunidad que tienen mayor relación con los conceptos técnicos requeridos para generar una simulación de un escenario de riesgo, los cuales son agrupados en 4 macro variables (Precipitación, Relieve, Área del Cauce, y Caudal).

Construcción de variables hidroclimáticas para la gestión del riesgo desde la percepción ciudadana.

- Construcción de variables hidroclimáticas (002)

Se realiza el levantamiento de datos según la percepción social respecto a eventos climatológicos e hidráulicos de los sistemas hídricos de interés (4 macrovariables), para tener una línea base cualitativa hacia la construcción de escenarios de riesgos en el territorio. Este levantamiento de datos se realiza a través de consultas a la comunidad. Con la obtención de información de los pobladores, se construyen 4 variables de campo (Pendiente, precipitación, área del cauce, y caudal) para

elaborar escenarios de riesgos, cuyo objetivo es generar credibilidad de los resultados por parte de los mismos actores, y por ende generar una apropiación de la información en diferentes escenarios.

Cada una de las 4 variables se construye como se presenta a continuación.

- **Datos climatológicos (precipitación). (Fig. 5)**

Por medio de analogías sistemáticas, se construyen histogramas de datos obtenidos de estaciones meteorológicas gubernamentales y la percepción ciudadana elaborando una clasificación significativa e interpretativa.

- Esta gráfica se usa para contrastar la apreciación de la población con los reportes meteorológicos y establecer equivalencias y líneas de base entre información cuantitativa y objetiva con las apreciaciones de la comunidad.

- **Datos topográficos (Fig. 6)**

Se utilizan herramientas digitales como los sistemas de información geográfica (GIS), superponiendo mapas topográficos o de relieve, identificando cotas de elevación de terreno de los puntos de investigación.

Con la opción de visualizar perfiles de terreno en software para análisis topográfico, (ej: Google Earth), se trazan puntos de interés del terreno de estudio de la comunidad. A partir de los lugares georreferenciados, se construyen porcentajes del relieve y elevación del terreno (msnm) de acuerdo a la percepción ciudadana y los datos obtenidos con el software de análisis topográfico (Ver Figura 6), tomando como referencia los porcentajes planteados por Cortés y Malagón (1984)¹ sobre la clasificación de pendientes de campo.

¹ Cortés, A. Y Malagón D. 1984. *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 360 p.

Tabla 1. Porcentajes de terreno.

RELIEVE (DATOS TECNIOS)	PERCEPCIÓN (INFORMACIÓN EXPERIENCIAL)
Plano, plano cóncavo, y ligeramente plano - 0-3%	Sin pendiente
Ligeramente inclinado, ligeramente ondulado - 3-7%	Muy Poca pendiente
Ondulado inclinado - 7-12%	Poca pendiente
Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado - 12-15%	Pendiente normal
Fuertemente quebrado - 25-50%	Mucha pendiente
Escarpado - 50-75%	Muchísima pendiente
Muy escarpado >75%	Demasiada pendiente

Fuente: Cortés y Malagón (1984), modificado por el Autor.

- **Datos área del cauce del río o quebrada. (Fig. 6)**

Con herramientas topográficas que permitan la operación por parte de la comunidad, se elaboran perfiles de los ríos y quebradas en secciones de interés. Con la comunidad tuvo como objetivos la construcción de datos técnicos de campo, la comprensión de los mismos y su utilización en la elaboración de estudios de inundaciones en espacios de participación ciudadanas normativos.

Datos de caudales.

Por medio de elementos convencionales que estén a la disposición de la comunidad, se proyectan los respectivos caudales de los sistemas hídricos de interés con la participación ciudadana. Ejemplo por el método de estimación de velocidad del agua y sección trasversal del volumen del agua. Se definen dos

puntos de observación a 10 metros de distancia aguas abajo del río, arrojando un objeto flotante (ej. Pelota), y contabilizando cuanto tiempo tardo en recorrer la distancia entre los puntos. Posteriormente, se mide el caudal volumen del agua, midiendo la profundidad de la lámina del agua de una o varias secciones transversales (área húmeda o mojada del cauce).

Etapas 4: integración del conocimiento experto (cuantitativo) y el conocimiento comunitario (cualitativo)

Simulación Participativa De Escenarios De Riesgos De Inundación. (004)

Existe una gran diversidad de Software empleados por expertos para definir zonas de riesgos de inundación, delimitando áreas para su respectivo uso o restricción en procesos de planeación urbanística. Durante la fase de construcción de dichos escenarios de riesgos, se integran datos obtenidos a partir de los procesos anteriormente descritos como topografía (Ver Figura 6) y precipitación (Ver Figura 6) en un software de simulación hidráulica con interface para visualización en línea con otros programas.

Se presentan los resultados de la simulación haciendo evidentes las variables construidas con la comunidad. Los resultados son enviados mediante la interface entre el programa de simulación a las plataformas web SIGcon para continuar con la identificación de zonas conocidas por los asistentes.

Los resultados obtenidos en la simulación, con información técnica y la social, desde la concepción constructivista, se muestran como polígonos de inundación indicando los diferentes niveles de riesgo, dentro de las zonas de estudio (Ver Figura 8).

El polígono de inundación obtenido dentro de la simulación es georreferenciado en el SIG, donde anteriormente se ha introducido la información obtenida previamente, para espacializar las zonas de riesgo en la jurisdicción estudiada (Ver Figura 9).

Etapla 5. Observatorio De Gestión Del Riesgo

Se realiza la interface entre el SIG, y un portal web, para su consulta y retroalimentación de los usuarios (Ver Figura 9).

Adicionalmente, quien desee anexar información como imágenes o fotografías, podrán hacerlo activando desde el móvil la localización satelital y adhiriéndolas al sitio web, actualizando en tiempo real.

Para la retroalimentación de la plataforma, y registrar datos temporales (meses), en especial de datos correspondientes a lluvias e incrementos del nivel del agua de los sistemas hídricos loticos, se incluye una capa dentro del observatorio que envía a los usuarios una encuesta en la cual se registra la información de la comunidad (**Ver Figura 10**).

El administrador puede consultar los datos de la plataforma, y considerarlos para la creación de escenarios de riesgos como herramienta de consulta en procesos preventivos para la gestión del riesgo. Adicionalmente, personas interesadas, actores sociales, expertos, y entes gubernamentales pueden hacer consulta de la plataforma con una conexión y un sistema operativo genérico.

Los dispositivos móviles con opción de navegación en la web, se convierten en una herramienta muy útil para los ciudadanos, tomando en consideración que pueden activar el observatorio y registrar información como por ejemplo la cantidad de precipitación que cae en un momento determinado, anexar una fotografía georreferenciada a la plataforma web, lo cual retroalimenta el observatorio constantemente, utilizando a los ciudadanos como sensores remotos.