

Proyectos de **I+D+i**  
2011-2013



## **Estimación y actualización del tráfico de mercancías peligrosas en la red de carreteras de la comunidad autónoma de Andalucía y prognosis de riesgos medioambientales**

Universidad de Sevilla

Andalucía  
se mueve con Europa



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía  
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA



Unión Europea

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional





**Estimación y actualización del tráfico de mercancías peligrosas en la red de carreteras de la comunidad autónoma de Andalucía y prognosis de riesgos medioambientales**

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y  
Vivienda. Junta de Andalucía. 2012

Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, Universidad de Sevilla

Sevilla, 10-12-2012

## 1. Introducción y antecedentes

El fin perseguido en este Proyecto de Investigación es elaborar un sistema que integre una herramienta informática capaz de proporcionar los flujos de vehículos de mercancías peligrosas (MPs) a lo largo de todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía (CA-A).

El conocimiento de estos flujos tiene como objetivo el servir de base para resolver cuestiones como el trazado idóneo de rutas alternativas para aliviar los puntos reales de mayor concentración de MPs, o la localización óptima de nuevos Centros de Transporte de Mercancías exclusivos para las MPs. Adicionalmente estas estimaciones fundamentan la previsión de las medidas y estrategias de intervención a adoptar para paliar las consecuencias de un posible accidente derivado del transporte de MPs por carretera. Asimismo permite delimitar las áreas que, teniendo en cuenta la cantidad, frecuencia y características de las materias que son transportadas en sus proximidades, han de ser consideradas de especial relevancia a efectos de prever medidas de protección a la población, los bienes o el medio ambiente que puedan verse afectados.

Este proyecto se enmarca dentro de un nuevo concepto en el campo de la identificación de vehículos que transporten MPs. Se trata de un sistema para estimar el flujo de vehículos en cada tramo viario, sin que se precise un exhaustivo proceso de encuestación ni de aforado, y que a su vez permita la identificación del tipo de MP y sus características. La metodología que se propone en este proyecto hace uso de datos, entre otros, provenientes de un sistema de visión artificial para la captación automatizada de la placa preceptiva de identificación de la MP transportada por el vehículo. El sistema se encargará de la interpretación de la materia transportada y el peligro asociado, así como de la posición y dirección de dicho vehículo, registrando la información en un servidor central. En este sentido, el sistema también permitirá establecer un seguimiento del vehículo para estimar su ruta.

Los objetivos unitarios que se irán alcanzando a lo largo del desarrollo del proyecto son:

1. Desarrollo de la metodología que permita ajustar las matrices obsoletas de expedición/recepción/distribución de MPs (Matrices Origen-destino OD) utilizando datos mixtos procedentes de:
  - Informes de Seguridad expedidos anualmente por los Consejeros de Seguridad de las empresas expedidoras, transportistas y receptoras de MPs.
  - Aforos agregados de vehículos de MPs provenientes de los Mapas de Tráfico publicados anualmente por el Ministerio de Fomento.
  - Flujo de vehículos de MPs, desagregados por clase, capturados por cámaras de visión artificial y reconocimiento de placa MP.
2. Desarrollo de los protocolos para la fácil y efectiva actualización de las bases de datos gestionadas por la aplicación.
3. Desarrollo de los protocolos de transmisión automática de datos desde las cámaras de visión artificial al servidor central para su posterior procesamiento.
4. Desarrollo de una aplicación informática que permita:
  - Gestionar las bases de datos históricas citadas en el objetivo unitario 1.
  - Visualizar y explotar las bases de datos gestionadas.
  - Estimar los mapas de flujos de vehículos de MPs en todos los tramos de la red de carreteras de la CA-A.
  - Estimar la demanda de MPs (expediciones/recepciones/distribuciones) mediante modelos en función de variables socioeconómicas y de distribución territorial municipal y comarcal.

- Pronosticar la evolución del tráfico en función de estimaciones de aforos.
  - Estimación del nivel de riesgo en función de los flujos, clase y subclase de MP, soportados por los distintos tramos del viario, y en particular por la RIMP (Red de Itinerarios de Mercancías Peligrosas).
5. Implementación de la aplicación informática en una plataforma GIS (Sistema de Información Geográfico) comercial, con las características incorporadas de:
- Capa de la red completa de carreteras de la CA-A, con incorporación de características fundamentales por tramos.
  - Capa de municipios de la CA-A.
  - Capa de centros de interés (i.e.: seguridad).
  - Capa de lugares de protección ambiental.

Una de las facetas más novedosas tecnológicamente del sistema a desarrollar se enfoca en el sistema de visión artificial para la captación de datos y la utilización de éstos en el ajuste de las matrices de demanda obtenidas a través de los datos proporcionados por la información recabada de los Consejeros de Seguridad, y la utilización conjunta de la información agregada proporcionada por los datos publicados por el Ministerio de Fomento. El sistema debe estar formado como mínimo por un conjunto distribuido de estaciones de lectura ubicadas en puntos de observación estratégicos, así como de un puesto de operación, todo ello interactuando con un servidor central que almacenará los datos, y una unidad de procesado. Esta red de puntos de observación debe definirse mediante un proceso de localización óptima que atienda a los criterios de:

- observación del mayor flujo posible,
- monitorizado del mayor número posible de pares Origen-destino,
- accesibilidad de la instalación.

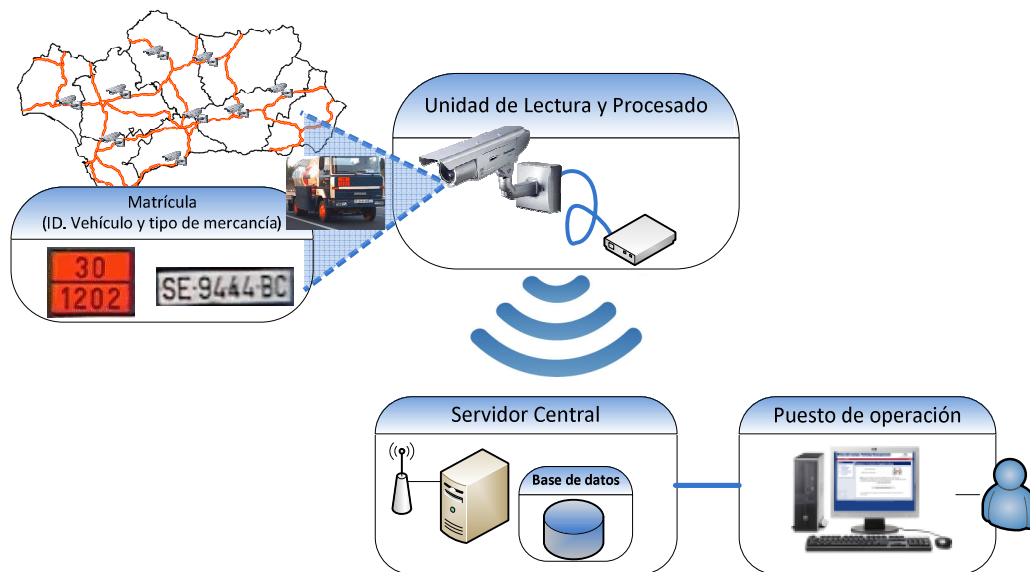
Las principales características del sistema serán las siguientes:

- Tasa de éxito en la lectura, superior a cierto umbral, a especificar en el proyecto.
- Capacidad para leer matrículas, independientemente de su color.
- Posibilidad de consulta a un puesto de operador en caso de duda o matrícula defectuosa.
- Capacidad de captación de datos en condiciones adversas de iluminación (i.e.: cámaras día/noche con filtro de infrarrojos automático).

La estructura del sistema (figura 1) será completamente modular, y estará integrada por un número variable de distintos tipos de módulos físicos y lógicos:

- Unidad de Lectura y Procesado (ULP). Cada unidad constará, como mínimo, de una cámara con capacidad de obtener imágenes en color de alta calidad en diferentes condiciones de iluminación, y una sub-unidad de transmisión integrada. Llevará a cabo el reconocimiento e interpretación de matrículas, para posteriormente transmitir dicha información a un Servidor Central. Esta unidad se encargará de la generación de los conteos de flujo desagregado, por clase de mercancía, en base a la información recopilada en la red.
- Servidor Central (SC). Se trata de un ordenador de gran capacidad que alojará las bases de datos con la información transmitida por la red de ULPs, así como otra información complementaria: riesgos medioambientales geográficos, información de flujos anuales de mercancías, conteos de este tipo de vehículos, relaciones posibles peligro/materia, ubicación de las unidades de intervención en caso de accidente, etc. Así mismo, actualizará las matrices origen-destino oportunas mediante la contrastación de las diferentes fuentes de información.

- Puesto de operación (PO). Este elemento del sistema está destinado a la resolución manual de las incidencias por parte de un operador. Para ello muestra el estado del sistema y permite el acceso para consulta de las bases de datos.

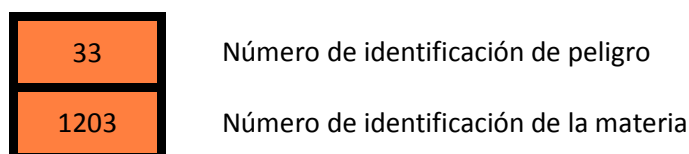


*Fig. 1: Arquitectura del sistema*

La ULP debe reconocer automáticamente las placas de identificación de peligro. Estas son de color naranja, retroreflectantes y con un reborde negro (figura 2). Aunque hay dimensiones típicas (30x40 cm), también es posible ciertas variaciones no estándares que el sistema tiene que considerar. Contienen en su interior dos grupos de números de identificación que habrá que reconocer.

La ubicación habitual de estas placas es en la parte frontal y posterior del vehículo, aunque en ocasiones se sitúa también en los laterales. En determinados casos la placa puede no contener los números de identificación, siendo ésta una salida posible del algoritmo (panel de MP sin identificación de peligro ni materia). Tras completar el reconocimiento de los números, la UP ejecuta un análisis sintáctico de sus valores para validar la relación peligro/materia mediante el acceso a una base de datos con las correspondencias posibles. Así pues, se podrán calibrar los resultados del proceso de reconocimiento de caracteres. En cualquier caso, la UP será capaz de reconocer vehículos de MPs y extraer números de matrícula para posteriormente almacenar los contenidos en un repositorio donde se relacione cada imagen con el expediente del vehículo que se ha reconocido. Estos datos estarán accesibles desde el puesto de operación para la consulta y/o modificación en aquellos casos que sean necesarios.

Las bases de datos generadas constituirán una de las fuentes de información necesarias para la consecución de los objetivos del proyecto.



*Fig. 2: Placa de identificación tipo mercancía*

## 1.1 Antecedentes

En un estudio previo, llevado a cabo en el año 2002, el equipo proponente, basándose en información estadística y documental, llevó a cabo un estudio sobre los mapas de flujos de transporte de mercancías peligrosas en la Comunidad Autónoma de Andalucía identificando los centros de actividad que generaban o atraían flujos de MPs y de las empresas expedidoras/receptoras y transportistas involucradas; la información se capturó mediante un proceso de encuestación, con envío de un cuestionario, mediante el que se recabó información sobre la denominación, clase y cantidad de cada una de las MPs expedidas, recibidas o transportadas durante el periodo de referencia, año 2001. De esta información se infirió la matriz de oferta-demanda de expediciones/recepciones de MPs (matrices OD), que asignada al modelo de red de carreteras de Andalucía proporcionó la clase y el volumen estimado de MPs que circularon por cada tramo del modelo de red viario del territorio andaluz en el periodo encuestado.

La innovación que este proyecto perseguía era el desarrollo de una metodología que permitiese actualizar la información de la matriz OD de MPs sin necesidad de repetir el exhaustivo proceso de encuestación en años futuros. Esto se alcanzó con un programa piloto de captura, manual, realizada mediante cámaras de vídeo en 20 puntos escogidos de la red de carreteras. Las imágenes capturadas permitían distinguir el NIP (número de identificación de peligro) de la placa de cada uno de los camiones que transportaban MPs y que circularon por dichos puntos en el periodo de grabación. De estas imágenes se obtuvieron correlaciones entre el número de camiones con MPs de cada clase que circulan por cada punto y el volumen anual de dichas mercancías. El limitado número de puntos aforados permitió vislumbrar la idoneidad de la metodología desarrollada, aunque evidenció la fuerte dependencia con este número. El resultado de este estudio derivó en el desarrollo de una aplicación informática que permitía graficar los mapas de flujos de MP, desagregados por Clase, en toda la red de carreteras de Andalucía.

El objetivo alcanzado por este estudio fue triple:

- Por una parte, disponer de los datos revelados por las empresas que expedían, recepcionaban o transportaban MPs, así como la clasificación de éstas.
- Por otra, conocer a través de estos datos las rutas seguidas por estas mercancías dentro del territorio de la Comunidad Autónoma.
- Por último, disponer de una aplicación informática que permitía la simulación de escenarios e hipótesis de la forma más amigable posible, facilitando los estudios de planificación y pronosticando las repercusiones de las actuaciones sobre la red del viario que exige este tipo de transporte.

A lo largo del trienio 2006-2008, el equipo proponente desarrolló el proyecto de investigación “*Programa Piloto para la Prognosis del Flujo de Mercancías Peligrosas por carretera e Incidencia en la Estimación de Riesgos de Accidentes Medioambientales*”, para el Ministerio de Fomento, en la convocatoria de Ayudas para Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica en el Área de Transporte para el año 2005.

El objetivo del citado proyecto fue el desarrollo de una metodología de actualización de matrices OD de MPs por carretera a nivel nacional, haciendo uso de datos mixtos de i) aforos de vehículos de transporte de MPs agregados publicados en los Mapas de Tráfico anuales del Ministerio de Fomento, y ii) datos desagregados capturados mediante cámaras de vídeo en determinados puntos de la red.

El fin alcanzado con este proyecto fue facilitar una herramienta informática piloto capaz de actualizar los mapas de los flujos de MPs a lo largo de todo el territorio nacional, infiriendo las matrices de MPs a través de los aforos de vehículos publicados por el Ministerio de Fomento. Se basó en un desarrollo avanzado de la metodología del proyecto previo citado del 2002. Los modelos desarrollados, basados en las técnicas



de regresión lineales vislumbraban la potencialidad de la metodología, e incorporaban por primera vez las técnicas de ajuste mediante datos mixtos agregados y desagregados.

## 2. Objetivos perseguidos y resultados previsibles

El objetivo práctico de este proyecto es el disponer de una aplicación informática eminentemente interactiva, capaz de mostrar de forma gráfica e intuitiva toda la información de interés para el usuario: flujos de MPs desagregados por clases que circulan por cada tramo de carretera, valores capturados de aforo, municipios y lugares de interés medioambiental en el entorno de un tramo, zonificación realizada en el estudio, e información adicional que se considere oportuno incorporar a lo largo del desarrollo del proyecto.

El usuario podrá lanzar el proceso de actualización de los datos de forma accesible y transparente, ocultando totalmente toda la complejidad de la metodología desarrollada. Existirá la posibilidad de creación de escenarios, donde se podrán recrear situaciones hipotéticas futuras, atendiendo a la aparición/desaparición de centros de manipulación de MPs, modificación de la red viaria, variación pronosticada de aforos, localizando por ejemplo nuevos centros de actuación para posibles accidentes en tales escenarios.

La aplicación está fundamentada en el uso de la tecnología GIS, de sistemas de bases de datos y la utilización de datos asociados a aforos de MPs capturados con técnicas de visión artificial. Esta aplicación será un producto derivado de la ejecución de este proyecto, por lo que estará disponible a la finalización del proyecto.

Una muestra de modelos de interfaces gráficas de aplicaciones desarrolladas por el equipo proponente se encuentra reproducida en la figura 3 (donde se muestra la situación de puntos aforados manuales sobre la Red de Itinerarios de Mercancías Peligrosas. Modelo de interface gráfica desarrollado en el estudio “Estudio de los Mapas de Flujos en los Transportes de Mercancías por Carretera en la Comunidad Autónoma de Andalucía”, para la Dirección General de Política Interior de la Consejería de Gobernación de la Junta de Andalucía).

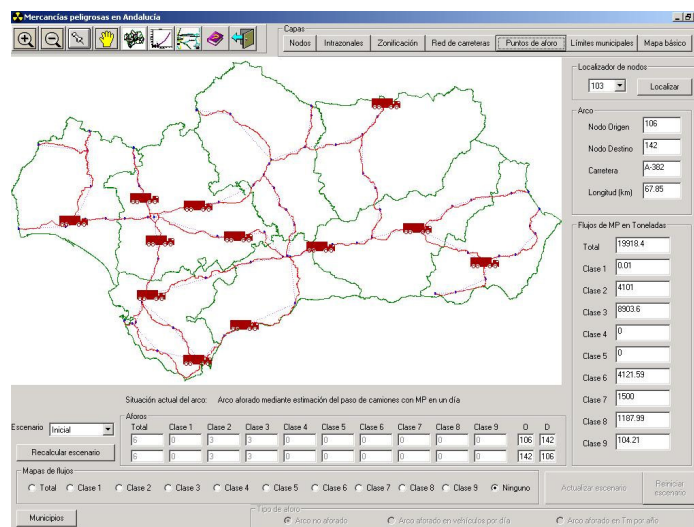


Fig. 3: Modelo de interface gráfica. Situación de puntos aforados manuales sobre la red de carreteras de la CA-A

Esta herramienta informática permitirá:

- Actualización de la matriz origen-destino.

El objetivo de esta tarea es la continua actualización de la matriz origen-destino. La matriz Origen-destino original habrá en este momento sufrido dos procesos de ajuste mediante datos de aforo: el primero para asegurar la bondad de los datos recogidos en la base de los Informes de los Consejeros de Seguridad, y el segundo en función de los datos agregados de aforos y desagregados capturados por visión artificial; este último para actualizar la matriz y evitar que los datos queden obsoletos.

- Incorporación de una Base de Datos de Riesgos.

La incorporación a esta aplicación informática de una base de datos de características medio-ambientales, materiales y personales, permite conocer los posibles riesgos que un vertido, por causa de un accidente, de la MP transportada por un vehículo, pudiera dar lugar en un punto, zona o región determinada.

Para llevar a cabo esto es preciso definir los corredores utilizados por los transportes de MP, obtenidos a través de un proceso de asignación de las matrices OD al modelo de red de carreteras, así como recabar información de datos correspondientes a las características de las poblaciones, edificaciones, infraestructuras, industrias, urbanismo, desarrollos agrarios, flora, fauna y suelo.

El objetivo perseguido por esta etapa es disponer de una herramienta para pronosticar riesgos medioambientales como consecuencia de vertidos (gaseosos, líquidos o sólidos) accidentales. Este objetivo queda circunscrito a conocer cuando se da un vertido, las características de la zona donde ha tenido lugar, a fin de que los servicios de protección puedan prever la actuación más pertinente.

### **3. Aspectos innovadores y justificación del proyecto**

El proyecto involucra herramientas tecnológicas ya ampliamente establecidas en el estado del arte actual, tales como:

- Sistemas de información geográfica.
- Entornos de programación con herramientas visuales.
- Técnicas de estimación de matrices OD.
- Técnicas de lectura y reconocimiento por visión artificial.

Las novedades tecnológicas que integra el proyecto se pincelan a continuación:

- Técnicas de ajuste de matrices OD utilizando datos mixtos de aforos agregados y desagregados.
- Captación y utilización de aforos de vehículos de MPs por medio de técnicas de visión artificial.
- Metodologías de modelización de la demanda mediante técnicas de modelos lineales generalizados y transformaciones Box-Cox.
- Metodologías de modelización de la distribución mediante modelos basados en la divergencia de Bregman.
- Técnicas de inferencia de estimaciones de la demanda en función de variables socioeconómicas y de territorio.
- Metodologías para la estimación del riesgo de accidentes por transporte de MPs.

Desde la óptica del desarrollo actual, a nivel nacional de la temática del proyecto, cabe destacar los siguientes aspectos:

- Los estudios llevados a cabo hasta la fecha solamente han involucrado caracterización de flujos de MPs mediante la explotación de datos derivados de encuestas específicas. Todo ello forzado por la Directiva “Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Accidentes en los Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera”.

- No han existido desarrollos en modelos de estimación de matrices de MPs, ni a nivel de prognosis en base a modelos de correlación socioeconómicas, ni en base a datos de flujos de tráfico.
- No se tiene constancia de que exista ninguna otra aplicación en los términos desarrollados previamente por el equipo de investigación, ni con las prestaciones propuestas en este proyecto.

Desde el enfoque internacional, los desarrollos en el ámbito de la temática propuesta presentan una óptica centrada en los siguientes desarrollos:

- Monitorización en tiempo real de cada vehículo de MPs, mediante envío de características del vehículo, carga y mercancía transportada, origen-destino y ruta seguida, por datos enviados vía SMS.
- Aviso en tiempo real de incidencias ocurridas en el transporte de la MP.
- No se tiene constancia de que exista ninguna aplicación desarrollada (o en vías de desarrollo) en la temática recogida en esta propuesta. El precedente más inmediato corresponde a un proyecto europeo financiado bajo el programa LIFE, denominado "TRADGIS: Transport of Dangerous Goods Geographical Information System", cuyo objetivo es el desarrollo de una herramienta GIS para el conocimiento del riesgo medioambiental cuando se produce un accidente en un transporte de mercancías peligrosas. El proyecto fue liderado por la empresa Viatek Tampere. El producto final de este proyecto, financiado al 50% por la CEE y con un costo total de 0.56 M Euros, es un sistema GIS que monitoriza via GPS la posición de los vehículos de MP en tiempo real; el sistema tiene creada una base de datos de riesgos medioambientales hidrológicos y geológicos.

El proyecto que se aborda en esta propuesta gravita en el ámbito de la prognosis en base a la modelización de los transportes de MPs efectuados en un periodo de tiempo determinado, y en la previsión de riesgos a poblaciones, urbanismo, edificaciones e infraestructuras, medio-ambiente (fauna, flora), industrias, geología e hidrología.

Desde el punto de vista científico-técnico, el desarrollo de este proyecto permitirá:

- Desarrollar las técnicas de ajuste utilizando datos mixtos de aforos agregados y desagregados simultáneamente.
- El desarrollo de un código computacional útil para la definición de mapas de severidad al riesgo de accidentes por transporte de mercancías peligrosas.
- La transferencia tecnológica del ámbito universitario a la Administración.
- El desarrollo de una aplicación fácil de utilizar para la estimación de los flujos de tráfico de vehículos de mercancías peligrosas.

Atendiendo a los antecedentes y logros citados en la sección precedente, se puede resumir el estado del arte desarrollado en los siguientes términos:

- Logros alcanzados en los desarrollos llevados a cabo, hasta la fecha presente, por el equipo investigador:
  - Ajuste y actualización de matrices de expedición/recepción/distribución de MP's, partiendo de bases de datos desactualizadas (obsoletas o incompletas), mediante datos mixtos de:
    - aforos manuales de vehículos de MPs desagregados por clase capturados en un día medio, y
    - aforos anuales agregados de vehículos de MPs.

- Derivación de los flujos de vehículos y volúmenes de MPs en todos los tramos de la red viaria, obtenidos por asignación de las matrices ajustadas de MPs al modelo de red de carreteras de la CA-A; previa modelización de la red local, comarcal, comunitaria y nacional de carreteras de la Comunidad.
  - Inferencia de modelos de demanda de MPs en función de datos de aforos manuales desagregados y/o aforos anuales agregados.
  - Estimaciones de matrices de MPs, flujos de vehículos y cargas en todos los tramos de la red en escenarios definidos por el usuario.
- Temas pendientes detectados en los desarrollos llevados a cabo, hasta la fecha presente, por el equipo investigador:
    - El ajuste y actualización de las matrices de MP's debería incorporar:
      - Series temporales de matrices obtenidas a partir de los datos proporcionados por los informes anuales remitidos por los Consejeros de Seguridad.
      - Datos de aforos capturados de forma automatizada, mediante técnicas de visión artificial a fin de disponer de una base de datos en un rango temporal más extendido.
    - Inferencia de modelos de demanda en función de variables socioeconómicas y territoriales municipales y comarcales.
    - Estimaciones de las matrices de demanda en escenarios futuros a partir de inferencia de los modelos de demanda.
    - Utilización de los datos de flujos en tramos viarios para la determinación de:
      - Riesgos medioambientales por vertidos de MPs sólidas, líquidas y gaseosas debido a accidentes, por proximidad a puntos sensibles (poblaciones, acuíferos, ríos, fauna, vegetación, etc.)

Desde el punto de vista científico-técnico este proyecto dará respuesta a los temas pendientes citados.



