

Proyectos de **I+D+i**  
2011-2015



# **MANUAL DE ACCIONES PREVENTIVAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS LINEALES**

## **Aspectos ambientales, geológicos y geotécnicos**

Universidad Pablo de Olavide

**Memoria divulgativa de resultados**

  
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





**MANUAL DE ACCIONES PREVENTIVAS  
PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE  
INFRAESTRUCTURAS LINEALES**  
**Aspectos ambientales, geológicos y  
geotécnicos**

© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía. 2015

Equipo Investigador

Por la AOPJA

José María Thode Mayoral (Sevilla)  
M<sup>ª</sup> Isabel Fiestas Carpena (Sevilla)  
Luis Ramajo Rodríguez (Sevilla)

Por la Dirección General de Infraestructuras

Juan Miguel García Morales (Málaga)

Por la Universidad Pablo de Olavide

Marga Zango Pascual (Sevilla)  
Luis María de la Rosa Domínguez (Sevilla)  
M<sup>ª</sup> Pilar Tamayo Muñoz (Granada)  
Dolores Segura Pachón (Sevilla)  
Manuel Damián Flor ( Mayo- Julio 2013 Sevilla)

Estudiantes en Ciencias Ambientales en prácticas de empresa en el proyecto:

Alejandro Jiménez Moreno (Sevilla enero-junio 2013)  
Alexis Migled Boggino (Sevilla enero-junio 2013)  
José Manuel Morales Serrano (Sevilla enero-junio 2013)

## 1. Introducción y antecedentes

La Junta de Andalucía impulsa algunas de las líneas básicas que propugna el programa FEDER dentro del ámbito de la Consejería de Fomento y Vivienda. Estos fondos financian investigaciones que repercutan en todo el territorio andaluz y puedan servir, entre otras cuestiones, para incidir a través del incremento de recursos en I+D+i sobre el PIB andaluz, el incremento y mejora de la excelencia en investigación y en su transferencia a la sociedad y al sistema productivo andaluz.

Desde épocas remotas, los romanos ya diseñaron su propia red de comunicaciones en Andalucía, las infraestructuras del transporte han resultado ser un elemento esencial del desarrollo de las sociedades, incluida no sólo su relación con el entorno y como medios de comunicación, sino para favorecer y extender la capacidad productiva. Son esenciales en momentos de crisis y emergencias y favorecen el desarrollo local. Su construcción implica grandes desembolsos económicos, muy superiores a los necesarios para su diseño, que puede estar entre el 2% y el 6% del total del coste de la infraestructura. Sin embargo, suelen ser las incidencias y problemas no resueltos satisfactoriamente en las fases de diseño, los que encarecen la construcción y posterior mantenimiento y puesta en obra.

En gran medida la complejidad geológica y geotécnica de Andalucía puede favorecer las dificultades en el diseño, pero la ciencia y la técnica han avanzado mucho en las últimas décadas y mediante este proyecto se ha intentado demostrar que dicha complejidad puede ser compensada con un excelente conocimiento de la realidad del territorio andaluz, además de combinarlo con el respeto y la integración medioambiental de sus numerosos valores, parajes singulares y espacios protegidos.

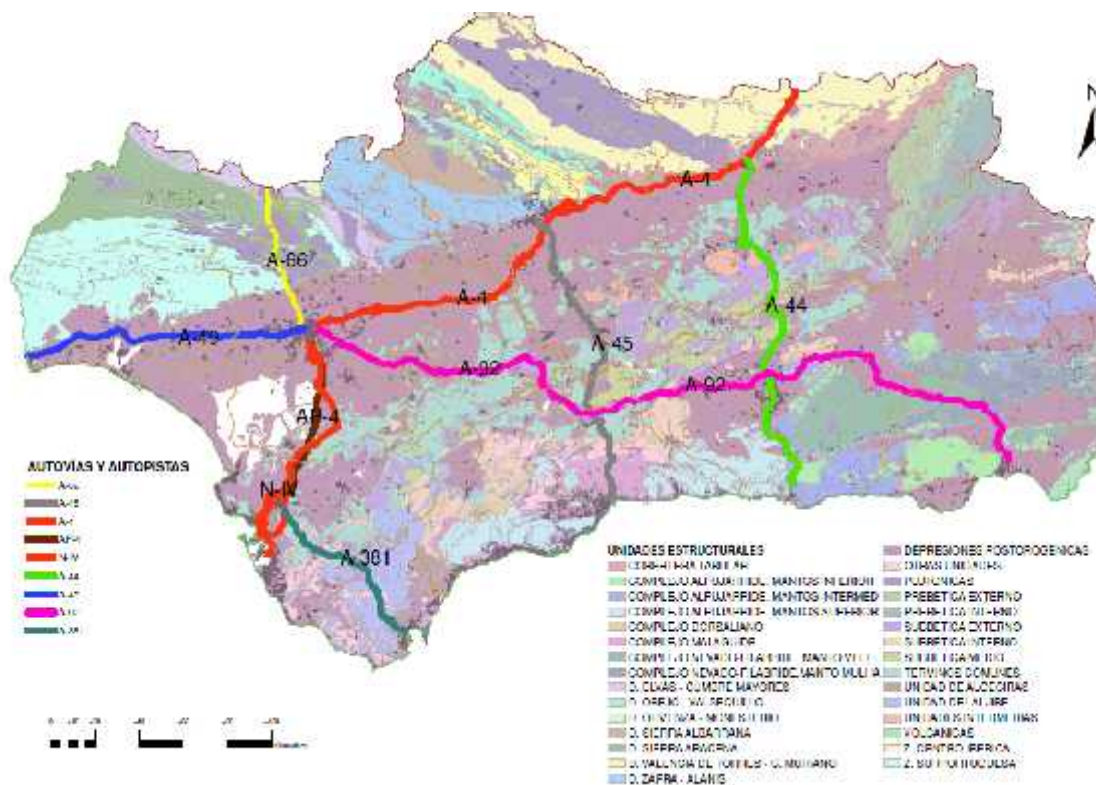


Figura 1: Unidades estructurales del territorio andaluz y principales autopistas y autovías (fuente de los datos REDIAM, elaboración propia).

Este proyecto ha trabajado en esta línea desarrollando un Manual de Buenas Prácticas para promotores y constructores desde la base de la planificación y cuantificación de criterios ambientales, geológicos y geotécnicos.

Se ha partido del estudio de la red de infraestructuras lineales del transporte en Andalucía, como se observa en las figuras 1 y 2, desde el punto de vista de la evolución histórica y de la previsión futura. La AOPJA ha facilitado los proyectos realizados en todas las provincias, al menos en la última década, para desde un análisis de lecciones aprendidas, valorar que es mejorable y que está ya consolidado, como conocimiento y técnica aplicable en el día a día del diseño y construcción de infraestructuras.

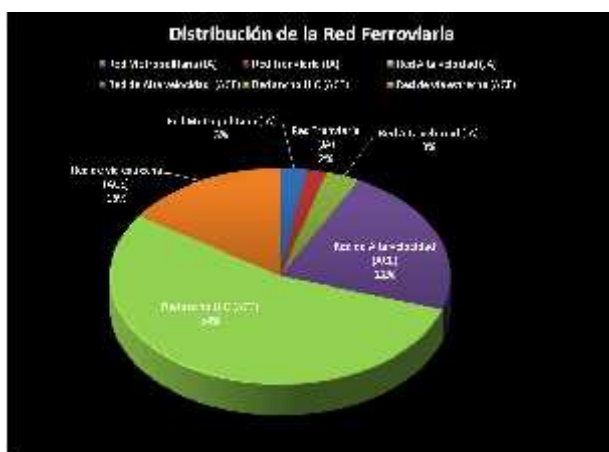


Figura 2: Unidades Estructurales y vías férreas.

El equipo investigador ha sido multidisciplinar tanto por la AOPJA como por la UPO, incluyendo especialistas de los diversos campos, ingeniería civil, geología, geotecnia, biología ambiental y ciencias ambientales. Todos los investigadores e investigadoras participantes de la UPO han trabajado previamente en ingeniería civil, en su ámbito de especialización.

El Manual final incluye una extensa recopilación de aspectos de cada materia en el estado actual de la ciencia, combinando en cada caso las exigencias legales a la fecha de redacción de proyecto. En el aspecto ambiental se han analizado también los

requisitos de las Autorizaciones Ambientales Unificadas, AAU, no exigibles para la mayoría de los proyectos revisados, pues las introdujo la Ley GICA en 2007, y no se desarrolló su reglamento hasta varios años después. De igual forma se ha actualizado la información existente, referente a amenazas naturales presentes en Andalucía, y que deben ser tenidas en cuenta en cualquier proyecto. Los ejemplos más significativos han sido riesgo de inundaciones y de sismos.

Así mismo, se ha realizado un completo análisis económico de las unidades de obra, en que pueden dividirse las carreteras, y que son más sensibles a los riesgos geológico-geotécnicos.

Tras integrar toda la cartografía geológica regional existente en organismos nacionales y autonómicos, se ha dividido el territorio andaluz, desde el punto de vista geológico, en unidades coherentes frente a su comportamiento ante la construcción de infraestructuras lineales. A esta información se le ha sumado el comportamiento geotécnico esperable y conocido por la experiencia del equipo investigador y la revisión documental y de proyectos reales facilitada por la AOPJA. Fruto de ello, se han seleccionado en sucesivas fases, zonas piloto donde realizar un completo y detallado análisis e integración de datos y que son junto al Manual el producto final. Se han seleccionado 10 zonas piloto (ver figura 3).

La base de la investigación ha sido la sinergia entre los aspectos geológicos, geotécnicos y ambientales, y el enfoque multi e interdisciplinar de los trabajos y equipo investigador en la UPO y la AOPJA, con una amplia experiencia en la materia.

## 2. Objetivos perseguidos y resultados previsibles

El objetivo principal es mejorar la seguridad de las carreteras y autovías andaluzas y ahorrar costes tanto en su construcción como mantenimiento posterior.

## 1.1 Objetivos específicos

Mediante la elaboración de un Manual de buenas prácticas que pueda usarse por promotores, constructores, consultores, profesionales en general y que sirva:

- Como medio sintetizador de experiencias
- Como apoyo a la identificación de patrones del medio
- Como herramienta de orientación metodológica
- Como auxilio del técnico proyectista, constructor, o explotador de la infraestructura
- Como racionalizador de la inversión
- Como elemento reductor de riesgos

## 1.2 Resultados principales obtenidos

Se han agrupado los resultados en 4 categorías principales y para su apreciación se incluye un ejemplo gráfico de cada tipo.

### **Análisis interdisciplinar y formación de expertos**

La diferencia entre analizar un problema de manera multidisciplinar o interdisciplinar a veces marca la posibilidad de enfrentarlo, y por tanto, solucionarlo de manera óptima. Ambas formas pueden ser complementarias, pero no deberían ser excluyentes. Este proyecto ha pretendido no sólo sumar datos, perspectivas de análisis, enfoques..., sino también someterlos a la discusión de quienes proceden de otro ámbito del conocimiento, incluso desde la ciencia básica y la aplicada, y la transferencia de ciencia y tecnología. Esa relación no se manifiesta en una mera recopilación del estado de la ciencia en cada materia relevante para el proyecto, sino en la “traducción” al resto del equipo, del sentido y significado de cada ítem, de cada parámetro o de cada singularidad propiamente geológica o ambiental. Se ha incluido a estudiantes de último curso de ciencias ambientales de la UPO en actividades del proyecto, mediante prácticas en empresas, participación en proyectos de fin de carrera, salidas de campo.

Una construcción necesita de equipos en que todos los miembros manejen el lenguaje básico de las disciplinas de los demás, y puedan comprender sus metodologías de trabajo. Eso facilita las soluciones de diseño óptimas y la disminución de costes sobrevenidos. La foto 1 es un ejemplo práctico de cuando no se da. El Manual se ha orientado a esto y en las fichas a dar soluciones a estas cuestiones de manera sencilla, dando relevancia a los aspectos que deben chequearse y comprobarse expresamente.



*Foto 1: Variaciones en la pendiente y naturaleza del sustrato en un mismo talud, y su incidencia sobre la eficacia de unas geoceldas colocadas sobre él.*

## Caracterización del territorio andaluz y presentación de resultados

El Manual resultante no es una norma de obligado cumplimiento, pero si una guía de buenas prácticas de recomendable consulta. Se ha pretendido facilitar la consulta mediante la elección de 10 zonas piloto en diferentes ubicaciones del territorio, que representan problemáticas concretas, que son descritas, analizadas, cartografiadas en su caso, y sobre las que se dan soluciones y posibles enfoques de acercamiento alternativo.

El Manual no debe usarse como ubicación geológica, sino como tipo de incidencia, problema, conjunto de formaciones similares, respuestas del terreno similares; nunca como receta, pues desvirtuaría todo el trabajo y conduciría a situaciones no deseadas, contrarias a los objetivos del proyecto.

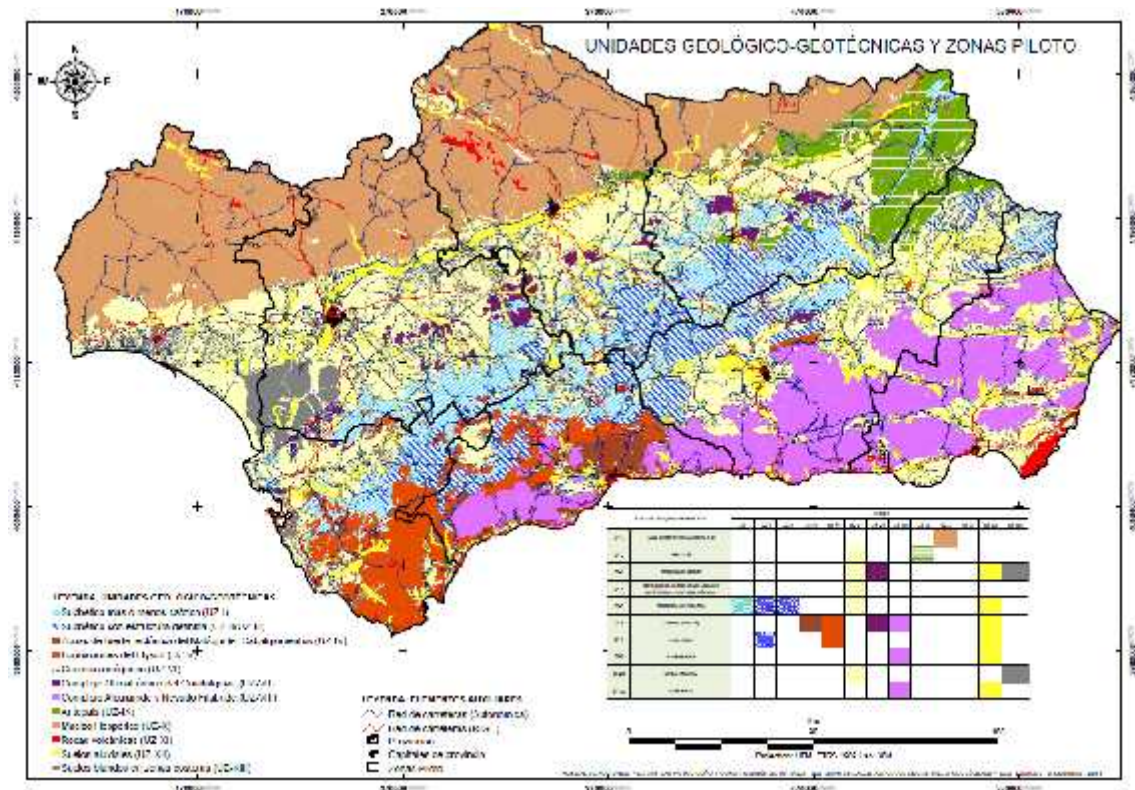


Fig. 3: Zonas seleccionadas y unidades estructurales del territorio Andaluz (datos REDIAM, elaboración propia).

Otros resultados que se incluyen en el Manual son:

- Numerosas referencias y enlaces a publicaciones y estudios científicos, informes técnicos, cartografías temáticas, legislación aplicable, estudios históricos,...
- Un recordatorio en forma de curso rápido de fotointerpretación, técnica esencial en geología y detección de amenazas geológicas, y no siempre utilizada adecuadamente, incluso en desuso en ocasiones por el uso de las nuevas tecnologías, pero imprescindible en temas de riesgos
- Todos los formatos geotécnicos de la AOPJA, recopilados en un solo documento en los apéndices del Manual
- El estudio económico detallado
- Cada una de las 10 fichas de las zonas piloto. De la UZ-1 a la UZ-10



## Análisis de coste-beneficio

Se ha realizado un completo estudio sobre que unidades de obra son las más perjudicadas por los riesgos geológico-geotécnicos, por tanto con las que hay que tener un especial cuidado. Las conclusiones se reflejan en la *tabla 1* y lo más llamativo es que básicamente son 4 tipos de actividades, unidades de obra, las que acaparan algo más del 80% del presupuesto, esto es y por este orden:

- Estructuras
- Movimientos de tierra
- Firmes y
- Drenajes

Por tanto, de verse afectadas por riesgos no previstos implicarían enormes sobrecostes. Se han manejado 20 proyectos, analizados y ponderados, de todas las provincias andaluzas, realizados entre 2006 y 2012, y con importes de entre 815.069,41 euros el de menor presupuesto a 45.488.763,64 euros el más costoso.

UNIDAD DE OBRA	ESTRUCTURAS	EXPLANACIÓN	FIRMES	DRENAJE	SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO Y DEFENSAS
JERARQUÍA	1	2	3	4	5
% PEM	26,95%	26,06%	17,01%	11,89%	4,63%
% PEC	19,52%	18,88	12,32	8,61	3,35
UNIDAD DE OBRA	OBRAS COMPLEMENTARIAS	SERVICIOS AFECTADOS	IMPACTO AMBIENTAL	SOLUCIONES AL TRÁFICO	SEGURIDAD Y SALUD
JERARQUÍA	6	7	8	9	10
% PEM	4,14%	3,34%	2,36%	1,62%	1,10%
% PEC	3,00%	2,42%	1,71%	1,17%	0,80%
UNIDAD DE OBRA	VARIOS	MEDIDAS GEOTÉCNICAS			
JERARQUÍA	11	12	Nota: en % PEC. Se ha considerado un IVA del 16%, por ser el más frecuente de la época.		
% PEM	0,52%	0,37%			
% PEC	0,38%	0,27%			

*Tabla 1: Jerarquía global por el coste de las unidades de obra en carreteras.*

## 3. Aspectos innovadores y justificación del proyecto

Hasta aquí podría parecer un proyecto como cualquier otro, pero lo que marca la diferencia es la interrelación de conocimientos y su puesta a disposición, en forma de un Manual de fácil consulta, para todo aquel profesional implicado en el objeto del proyecto. El ritmo del trabajo actual, los desarrollos tecnológicos para la construcción, las innumerables fuentes legales de las que debe informarse un proyecto y múltiples factores más, hacen que aspectos en apariencia excesivamente científicos pudieran quedar relegados, y sin embargo pueden ser fundamentales para evitar sobrecostes e incluso abandono de obras en marcha. En esta breve memoria divulgativa se indica uno de ellos, simplemente como ejemplo de lo pretendido por este proyecto. Básicamente aunar ciencia y técnica y recopilar las mejores prácticas disponibles.

Las Béticas son una cordillera activa, como se manifiesta en la sismicidad de Andalucía que junto a Murcia es de las más altas de la Península Ibérica. Pero no podemos olvidar que esa sismicidad es fruto de esfuerzos tectónicos por el choque de las placas euroasiática y africana. Esto se manifiesta, de

diferentes formas en una infraestructura (carretera, autovía, ferrocarril convencional, AVE). En el caso de que incluya túneles, éstos podrían sufrir graves deformaciones, conocidas como convergencias (squeezing en inglés), que de no tenerse en cuenta arruinarían la obra. En la figura 3 puede verse la situación de las principales fallas activas en Andalucía. No ha sido el único aspecto a considerar por supuesto, pues son muchos más, además de que son zonas de debilidad por la presencia de esas fallas, fracturación de rocas, suelos que den lugar a situaciones particulares de la mecánica de suelos, u otros factores litológicos, estructurales, condicionantes geotécnicos, etc...

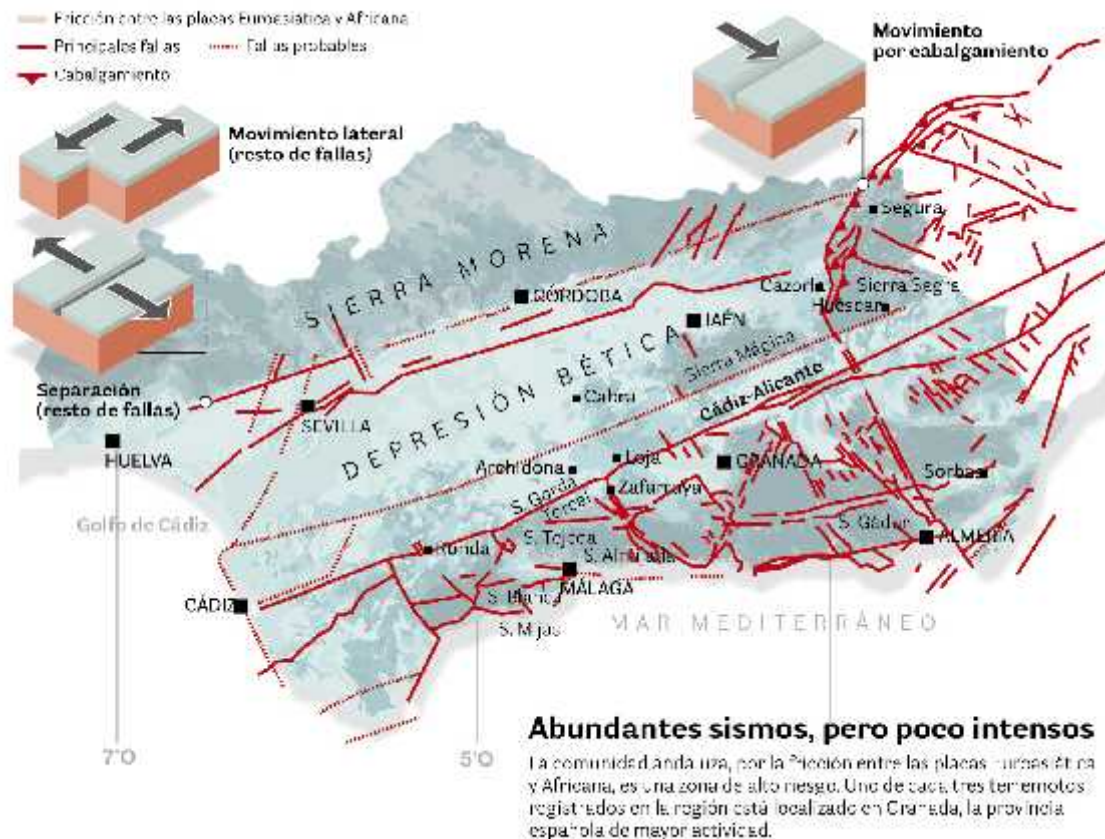


Fig. 3: Principales fallas activas de Andalucía

Se ha elegido este ejemplo para ilustrar lo que la ciencia puntera podría aportar y lo que la ingeniería más avanzada está resolviendo, pero deben estar en línea para que el resultado sea correcto, en este caso, para que los túneles se diseñen con el menor coste y la mejor explotación.

En España, a veces la ciencia básica se difunde en medios excesivamente especializados y alejados de quien podría utilizarla para el bien de la sociedad, y la ingeniería en ocasiones no considera asumibles conocimientos científicos en la frontera del conocimiento como algo sencillo de incorporar, ¿pero que es la I+D+i, sino una forma de tender esos puentes?

Esto se ha pretendido y es por ello que el Manual se ha estructurado en su parte final, de manera práctica, en 10 fichas muy completas, volver a figura 3 donde pueden observarse sus localizaciones, representativas de las situaciones más preocupantes y habituales en el territorio andaluz. Estas fichas recogen todos los aspectos a tener en cuenta, los riesgos geológicos y geotécnicos posibles, los condicionantes ambientales, los parámetros usuales que caracterizan una determinada litología, cuando es posible, las buenas prácticas recomendadas para las situaciones descritas. Todo ello se incluye en un esquema didáctico con fotos, gráficos, cartografía, fotografía aérea y cualquier formato de utilidad para los objetivos de la ficha. Pero se insiste no son recetas.



