

**SERVICIOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES  
EN EL TRAMO FINAL DEL RÍO LOUKKOS EN LA PROVINCIA DE LARACHE (MARRUECOS)**

**DOSSIER RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS**



## INTRODUCCIÓN A LOS TRABAJOS REALIZADOS:

### MARCO GENERAL DEL ESTUDIO

La Agencia de la Cuenca Hidrográfica del Loukkos (Agence du Bassin Hydraulique du Loukkos, ABHL en adelante) fue creada en diciembre del año 2000, con la publicación del “Décret n°2-00-476 relatif à l’ABH du Loukkos” de 23/11/2000. Sus competencias, que incluyen la cuenca del Loukkos, se extienden hasta casi los 14.000 Km<sup>2</sup>, comprendiendo la vertiente norte rifeña. Sus ríos desembocan tanto en el Mediterráneo, como en el Atlántico, describiéndose sucintamente como sigue:

- Costa mediterránea: los límites van desde el Fnidk en el oeste, hasta el Nekor en el este, siendo los ríos más relevantes el Martil, Lau, Rhiss y Nekor.
- Costa atlántica: sus límites van desde la cuenca del Tánger en el norte, con las subcuencas del Hachef, Mharhar y Ayacha, hasta la cuenca del Loukkos en el sur.

*Ilustración 1. Zona de acción de la Agencia de la Cuenca Hidrográfica del Loukkos.*



Con anterioridad, y en concreto en el año 1997, el Ministerio de Agricultura, Equipamiento y Medio Ambiente aprobó el “Décret n°2-97-223 24 octubre 1997 Relatif a la procedure d’elaboration et de revision des plans directeur d’aménagement integre des ressources en eaux et du plan nacional de l’eau”, en el que se establecían las bases para la elaboración de los Planes Directores de Desarrollo Integral de los Recursos Hídricos, y se asignaba su responsabilidad de elaboración y revisión a las agencias hidráulicas, todavía, por entonces, no creadas, aunque sí en fase embrionaria gracias al marco legislativo del Reino de Marruecos en materia de aguas del año 1995: “Loi n°10-95 sur l’eau”.

Como quiera que sea, recientemente la citada ABHL presentó el “Proyecto Plan Maestro de Desarrollo Integral de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidráulica del Loukkos” (PDAIRE), en el que se identifican 85 lugares con riesgo de inundación, con diferente urgencia de intervención. De éstos, en la provincia de Larache, y concernientes al río Loukkos, se presentan dos zonas: una con carácter “urgente” (en la llanura del Loukkos, aguas arriba del núcleo de Larache) y otra, “muy urgente” (en el núcleo de Ksar El Kébir).

En este contexto, la Comunidad Autónoma de Andalucía colabora con el Reino de Marruecos, y en concreto con la Agencia Hidráulica de la Cuenca del Loukkos, para la ejecución del proyecto “Programa de cooperación transfronteriza en materia de prevención contra avenidas e inundaciones en la zona norte de Marruecos (PRAVEMA)”, aprobado en la segunda convocatoria del Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores (POCTEFEX) en la reunión de su Comité de Gestión de 28 de octubre de 2011.

Con este proyecto se pretende realizar un intercambio de experiencias en la prevención de avenidas e inundaciones entre las administraciones hidráulicas de Andalucía y de Marruecos, formulando un Plan de Prevención en una cuenca piloto del norte de Marruecos; y máxime teniendo en cuenta la necesidad de contar con un sistema de alerta y prevención de inundaciones, planteada nuevamente como consecuencia de los daños sufridos en la zona norte de Marruecos en los últimos años, destacando los de otoño de 2008, diciembre de 2009, y enero febrero de 2010.

**Fotografía 1.** Llanura de inundación del río Loukkos, anegada tras un episodio de avenida.



Por tanto, y en resumen, el programa de trabajos del proyecto PRAVEMA comprende las siguientes actuaciones:

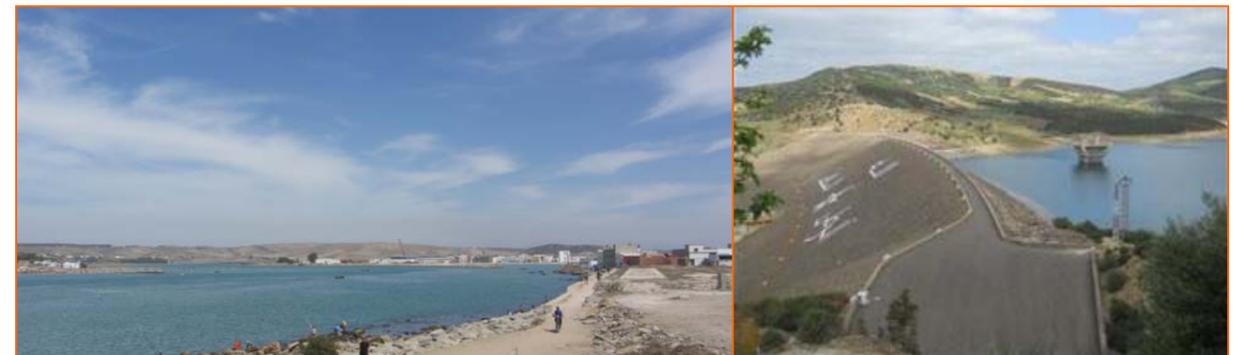
- El establecimiento de las bases para un sistema de alerta temprana y de ayuda a la decisión en la cuenca piloto.
- Se contempla la construcción de un modelo hidráulico bidimensional que sirva de modelo parental para la planificación hidrológica de la cuenca y en la definición de las estructuras y medidas de atenuación de las avenidas.
- Definir y ordenar los usos del territorio en el ámbito de riesgo.
- Elaborar un Plan de Emergencia y diseñar el Protocolo de Actuación en caso de avenidas.
- El intercambio de experiencias y la transferencia de tecnologías, así como la celebración de seminarios.

El proyecto culmina con la elaboración conjunta de un modelo de anticipación y gestión del riesgo ante inundaciones en la cuenca del Loukkos, incluido propuesta de implantación de un S.A.D (sistema de Ayuda a la Decisión) cuyos resultados sean transferibles a otras cuencas del norte de Marruecos de similares características,

En este sentido, dicho proyecto internacional, financiado en su mayor parte con fondos europeos, tuvo la primera reunión de la Comisión Técnica de Seguimiento del proyecto en Tetuán (Marruecos) el pasado 23 de abril de 2012. La cita, celebrada en la sede de la ABHL, estuvo presidida por el entonces Director de la ABHL, Lhoussaine Oukbad, y contó también con la asistencia de la Fundación Centro de Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), representantes de la Fundación Fidias, e igualmente, representantes de la Secretaría General de Aguas de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, como socio principal del proyecto. Esta reunión sirvió además para dar inicio de manera formal al proyecto, que oficialmente dio comienzo algo más de un mes antes, el 15 de marzo de 2012.

En este encuentro ya se llevó a cabo una primera toma de contacto con la zona de estudio, realizándose una visita conjunta recorriendo el entorno del río Loukkos, desde Larache hasta el embalse Oued El Makhazine.

**Fotografía 2.** Izquierda: desembocadura del Loukkos en Larache. Derecha: embalse de El-Makhazine.



**Fotografía 3.** Meandros en el tramo bajo del Loukkos en las cercanías de Larache. Imagen tomada desde las ruinas de la ciudad fenicia de Lixus.



El reparto de los trabajos del proyecto quedaba dividido en líneas generales de la siguiente forma:



1. CENTA: Estudios previos, encuentros formativos y seminarios, entre otras labores.
2. Fundación FIDIAS: Estudio hidrológico, evaluación preliminar del riesgo por inundaciones y ordenación de los usos en el ámbito de mayor riesgo e propuesta implantación de un S.A.D.
3. La actual Secretaria General de Gestión Integral del Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (SGGMN-CMAOT): Realización de cartografía de inundabilidad, elaboración de plan de medidas, y elaboración de un plan de emergencia y contingencia, entre otras actividades.

Según esta división de los trabajos del PRAVEMA, y en el contexto de los relativos al punto número “3” mencionado, entra a escena ESTUDIO 7 ANDALUCÍA como adjudicataria de los SERVICIOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN EL TRAMO FINAL DEL RÍO LOUKKOS EN LA PROVINCIA DE LARACHE (MARRUECOS), licitados por la Secretaria General de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, de la Junta de Andalucía (actualmente SGGMN-CMAOT).

Dicho proceso de licitación se inició a mediados del año 2012 y concluyó con la firma del contrato entre Estudio 7 Andalucía y la Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, el día 14 de mayo de 2013, dándose comienzo a la prestación de los servicios, que se pasan a resumir a continuación, y cuyos objetivos principales eran los siguientes:

- Obtención de cartografía y planimetría con tecnología LIDAR.
- Estudio hidráulico y de inundaciones (con modelo 2D) en el ámbito de estudio.
- Análisis de los resultados y restricciones a los usos del suelo. Clasificación de riesgos.
- Elaboración de plan de medidas.
- Realización de plan de emergencia y contingencia.

Dichos objetivos se han ido materializando con el desarrollo de los trabajos que, por operatividad quedaron enmarcados en las siguientes cinco fases:

1. Fase primera: Estudios previos, revisión de documentación e inspecciones de campo.
2. Fase segunda: Lidar, Ortos, Batimetría, trabajos complementarios de campo y modelos digitales.
3. Fase tercera: Estudio Hidráulico.
4. Fase cuarta: Elaboración del Plan de Medidas.
5. Fase quinta: Elaboración de un Plan de Emergencias y Contingencias.

A continuación se pasa, por tanto, a describir sucintamente las labores realizadas en cada una de las fases anteriores, pudiendo encontrar mayor información en la documentación completa generada con motivo del proyecto en la documentación entregada a los responsables técnicos de la A.B.H.L y en la web oficial [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/pravema](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/pravema)

## FASE PRIMERA DE LOS TRABAJOS:

### ESTUDIOS PREVIOS, REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN E INSPECCIONES DE CAMPO

En esta fase inicial de los trabajos, llevada a cabo a mediados del año 2013, se realizaron las primeras tomas de contacto con la zona de estudio, sus condiciones particulares, y administraciones y organismos locales. El objetivo último de esta etapa venía marcado por la delimitación del ámbito de estudio para el desarrollo del trabajo en general, y vuelo LIDAR y batimetría en particular.

Toda la documentación generada con motivo de esta primera etapa de los trabajos queda incluida en el documento FASE PRIMERA: ESTUDIOS PREVIOS, REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN E INSPECCIONES DE CAMPO, cuyo contenido es el siguiente:

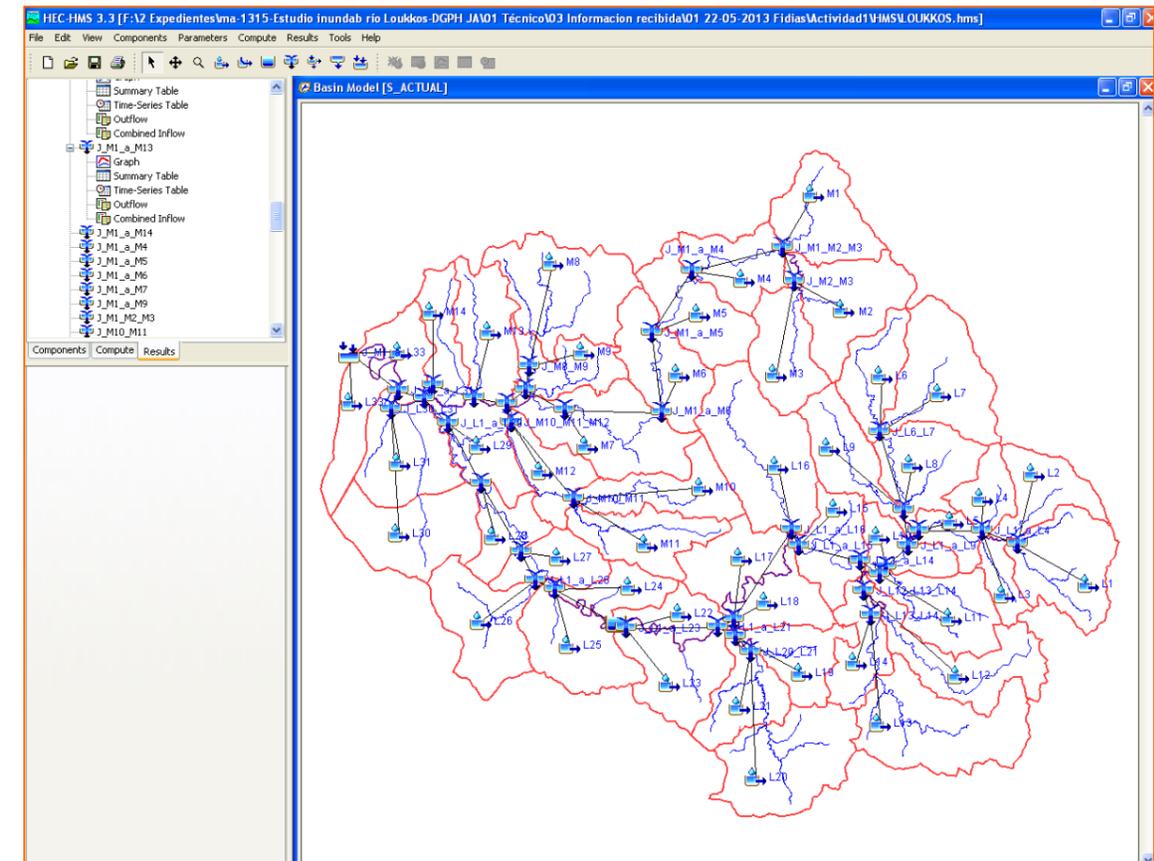
- 1.- INTRODUCCIÓN. OBJETO Y CONTENIDO DEL DOCUMENTO.
- 2.- DEFINICIÓN DE ANTECEDENTES, MARCO DE ESTUDIO Y OBJETIVOS.
- 3.- REVISIÓN DE ESTUDIOS EXISTENTES, MARCO REGULATORIO Y NORMATIVAS ESPECÍFICAS.
  - 3.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO PROPORCIONADO POR LA DIRECCIÓN DE LOS TRABAJOS.
  - 3.2. ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA CON APLICACIÓN DE FORMULACIÓN RACIONAL.
  - 3.3. ROTURA DE PRESAS.
  - 3.4. MARCO REGULATORIO Y NORMATIVAS ESPECÍFICAS.
- 4.- DESCRIPCIÓN CONCRETA DE LA ZONA DE ESTUDIO Y RECONOCIMIENTO DE CAMPO.
  - 4.1. INTRODUCCIÓN.
  - 4.2. MARCO ADMINISTRATIVO Y SOCIOECONÓMICO GENERAL
  - 4.3. MARCO FISIAGRÁFICO GENERAL.
  - 4.4. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO
  - 4.5. PLANEAMIENTO URBANO, USOS DEL SUELO Y SUPERFICIES AGRÍCOLAS.
  - 4.6. INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURAS PRINCIPALES.
  - 4.7. NOTAS HISTÓRICAS DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.
- 5.- COORDINACIÓN CON COLABORADORES Y ORGANISMOS. REUNIONES INICIALES EN MARRUECOS.

### 6.- CONCRECIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO Y GESTIÓN DE PERMISOS

- 6.1. ESTUDIO PREVIO DE LA INUNDABILIDAD Y MARCAJE DE LA ZONA POTENCIALMENTE INUNDABLE.
- 6.2. DELIMITACIÓN DEL ÁMBITO DE VUELO LIDAR + ORTOFOTO.
- 6.3. ALCANCE DE LOS TRABAJOS BATIMÉTRICOS.
- 6.4. COORDINACIÓN Y GESTIONES PARA LA OBTENCIÓN DE PERMISOS.

Algunas de las labores que se han llevado a cabo, por tanto, han consistido, en primer lugar, en la **revisión positiva del estudio hidrológico** elaborado por la Fundación Fidiás en el marco del PRAVEMA.

*Ilustración 2. Modelo con HEC-HMS de la cuenca del Loukkos.*



De otro lado **se ha analizado la normativa** del país vecino en materia de aguas, desprendiéndose que dispone de una Ley de Aguas de 1995, y un Reglamento de Dominio Público Hidráulico de 1998. En dicha normativa se fijan una serie de criterios para el establecimiento del DPH, aunque éstos no lo fijan de manera

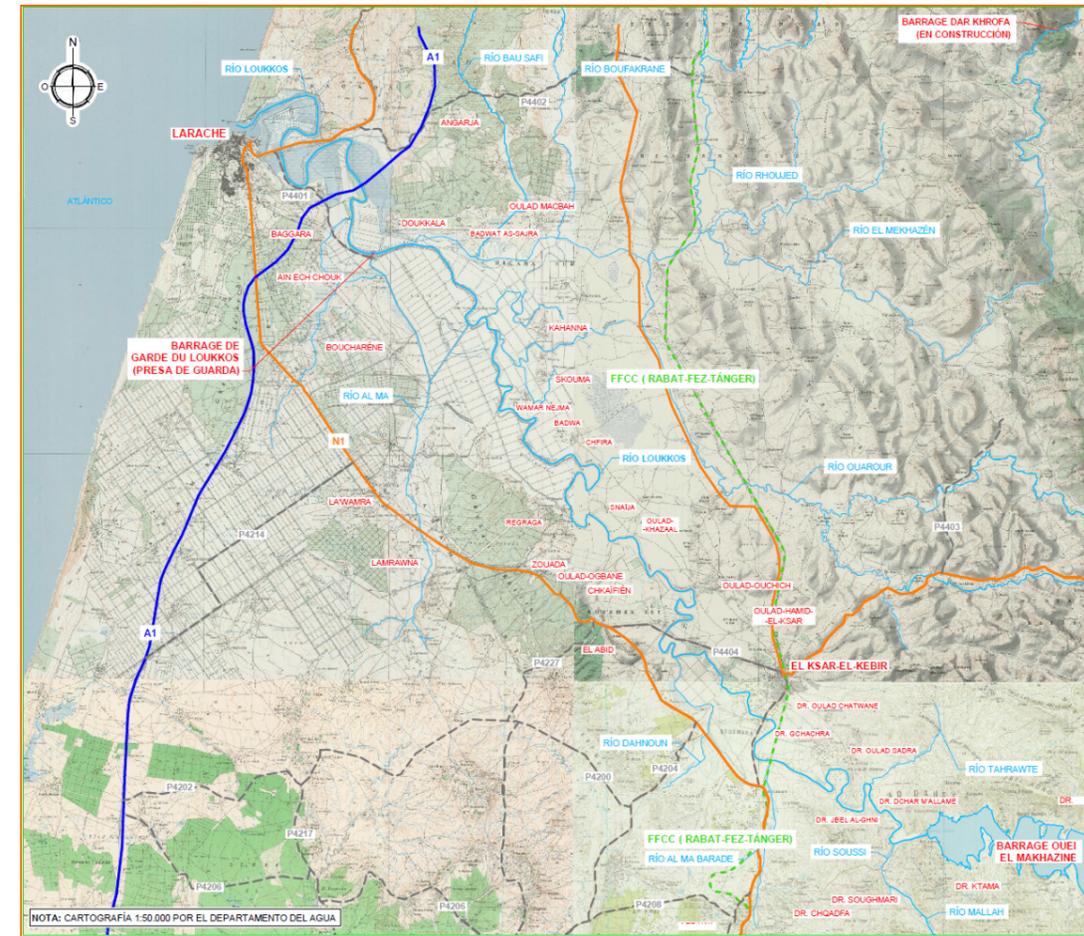
unívoca. Circunstancia similar se produce en lo relativo a zonas inundables, en las que éstas no vienen asociadas a un periodo de retorno concreto.

**Tabla 1.** Normativa principal de aplicación en el Reino de Marruecos en el contexto de este estudio.

| Normativa  | Date de publication au BO |
|--|---------------------------|
| Loi n°10-95 sur l'eau (Ley 10-95 sobre el Agua)  | 20/09/1995                |
| Décret n° 2-97-223 relatif à la procédure d'élaboration et de révision des PDAIRE (Decreto 2-97-223 relativo al procedimiento de elaboración y revisión del PDAIRE)  | 6/10/1997                 |
| Décret n° 2-97-489 relatif à la délimitation du DPH, à la correction des cours d'eau et à l'extraction des matériaux (Decreto 2-97-489 relativo a la delimitación del DPH, a la corrección de los cursos de agua y a la extracción de materiales).   | 5/2/1998                  |
| Décret n° 2-97-657 relatif à la délimitation des zones de protection et des périmètres de sauvegarde et d'interdiction (Decreto 2-97-657 relativo a la delimitación de zonas de protección y de los perímetros de salvaguardia y prohibición)  | 5/2/1998                  |
| Décret n° 2-00-474 fixant la procédure de reconnaissance de droits acquis sur le domaine public hydraulique (Decreto 2-00-474 de fijación del procedimiento de reconocimiento de los derechos adquiridos sobre el DPH.)  | 30/11/2000                |
| Décret n°2-00-476 relatif à l'ABH du Loukkos (Decreto 2-00-476 relativo a la ABH del Loukkos)  | 23/11/2000                |
| Décret n° 2-03-487 relatif à la tutelle et à la composition des conseils d'administration des agences de bassins hydrauliques (Decreto 2-03-487 relativo a la tutela y composición de los consejos de administración de las agencias de las cuencas hidrográficas).  | 17/2/2005                 |
| Arrêté conjoint n°548-98 relatif aux redevances d'utilisation de l'eau du domaine public hydraulique pour l'irrigation. (Orden conjunta 548-98 relativa a los cánones de utilización del agua de Dominio Público Hidráulico para el riego).  | 17/12/1998                |
| Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et de l'habitat n° 1443-02 du 10 octobre 2002 fixant les termes de référence des études des répercussions sur le domaine public hydraulique (Norma conjunta del Ministerio de Equipamiento y del Ministerio de Ordenación del Territorio y Urbanismos 1443-02 de 10 de octubre de 2002, que fija los estudios necesarios a realizar en las actuaciones de repercusión sobre el Dominio Público Hidráulico). | 5/12/2002                 |

Por otro lado, se llevó a cabo un amplio despliegue en materia de reconocimiento del ámbito de estudio, tanto en términos de trabajo de gabinete, como en materia de inspecciones in situ.

**Ilustración 3.** Zona de estudio en el tramo final del río Loukkos entre el embalse de El Makhazine y su desembocadura en Larache.



El ámbito de estudio se centra en el tramo bajo del Loukkos que va desde el embalse de El Makhazine hasta la desembocadura. En este tramo, y observando la cartografía 1:50.000 proporcionada por el Departamento del Agua (Département de l'Eau) del Ministerio de Energía, Minas, Agua y Medio Ambiente (Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement), el río atraviesa una extensa superficie inundable con orografía inminentemente llana y de escasa pendiente.

De hecho, en unos 40 km. de longitud (en línea recta) medidos desde el embalse de El Makhazine hasta la desembocadura en Larache, el cauce del Loukkos desciende apenas 20 m., pasando de una cota aprox. de +18-20 m. al comienzo, hasta cota de nivel del mar.

Esta circunstancia de planicie trae consigo una formación de significantes meandros que hacen del recorrido del cauce un serpenteo imponente. Se aprecia también la formación de marismas, muy común en los desarrollos de estuarios.

En sintonía con las circunstancias anteriores, la desembocadura del río Loukkos forma por tanto un estuario, donde se aprecia perfectamente la intrusión de las aguas del Atlántico en el cauce del río, remontando las aguas varios kilómetros río arriba hasta llegar a la presa de Guarda del Loukkos (barrage de Garde du Loukkos), cuyo uno de los objetivos es impedir la intrusión del agua salada del océano en las extensas superficies irrigadas y de agua dulce del río (además de contener agua dulce para riego).

**Fotografía 4.** Presa de Garde du Loukkos.



En las márgenes del Loukkos se sitúan multitud de diseminados (comunas o douares) y los dos núcleos más importantes de la zona: Larache y Ksar El Kébir. La altura a la que se sitúan estos núcleos urbanos es muy variable: algunos de los douares están situados en zonas claramente inundables, y otros a una cota que supera los 25 m.

Larache está situado en la desembocadura del Loukkos, en su margen izquierda. Gran parte del casco antiguo está situado en alto, divisando la desembocadura por encima de la cota +15 m. En la margen derecha se observa la zona de playa de Larache, junto con servicios de ocio y recreativos, como merenderos.

Por su parte Ksar El Kebir, situada en la margen derecha del río, va incrementando su elevación según nos movemos en sentido NE. Las zonas más cercanas a las riberas del río se sitúan por debajo de la cota +15.

Desde el punto de vista socioeconómico, la principal riqueza de la provincia, y por ende, del ámbito de estudio, se encuentra en la actividad agrícola, con extensas superficies en las márgenes inundables del Loukkos de

las que se desarrollan multitud de productos como hortalizas, azúcar, aceites, arroz y grano, entre otros. El núcleo neurálgico de la provincia en este ámbito se ha encontrado tradicionalmente en la villa de Ksar El Kébir. De ahí que desde antaño la línea de ferrocarril Rabat-Fez-Tánger, tenga parada en esta ciudad.

Asimismo, este nivel económico agrícola trae consigo la existencia en la zona de numerosas industrias de preparación, conservación y venta de los productos correspondientes. Este comercio se produce tanto de cara al exterior (la zona queda conectada con autopista, línea de ferrocarril, y puerto, aunque éste enfocado mayoritariamente a la actividad local pesquera), como de forma interna en la provincia, mediante la venta ambulante y en mercadillos.

Se trata, en definitiva, de una zona con clara vocación agrícola y agroindustrial, en la que, de las 150.000 has ocupadas aproximadamente por la llanura del Loukkos, 70.500 son de regadío, gracias, entre otros, a las condiciones topográficas y del suelo.

**Fotografía 5.** Superficies de regadíos de la margen izquierda del Loukkos.



En última instancia se debe mencionar que la riqueza y desarrollo del ámbito de estudio se ha incrementado con la culminación en 1979 de la presa de El Makhazine, cuyos usos son los de laminación, riego, agua potable, y generación de energía eléctrica.

**Fotografía 6.** Presa de El Makhazine vista desde aguas abajo.



*Ilustración 5. Área de estudio para trabajos batimétricos.*

Siguiendo estos pasos se ha puesto en marcha recientemente la construcción de la presa de Dar Khrofa (Barrage Dar Khrofa), cuya finalidad es el embalsado de agua para el riego y agua potable, y la laminación de avenidas para la prevención de inundaciones.

Algunas de las visitas a la zona de estudio vinieron acompañadas de **reuniones y contactos con la ABHL**. En concreto podemos resaltar la que se produjo a principios del mes de julio del año 2013, en la que estuvieron presentes los técnicos locales, y el resto de socios del PRAVEMA.

Esta reunión fue muy positiva en términos de ir concretando la zona a volar con LIDAR, y en el sentido de que la ABHL mostró su clara disposición de colaboración para agilizar la obtención de permisos para el desarrollo de los trabajos de campo. Éste fue, por tanto, uno de los hitos fundamentales para comenzar a lanzar la documentación pertinente en materia de solicitud de permisos.

En lo que a **LIDAR + Ortofotos** respecta, dicha documentación debía ir necesariamente acompañada del Plan de Vuelo, que precisaba lógicamente del cierre de los límites a volar. Dichos límites fueron concretados en esta etapa, abarcando un total de **56.100 hectáreas**, y a partir de un estudio hidráulico previo, y otra serie de consideraciones geográficas.

Por su parte, en lo que respecta a los trabajos de **batimetría**, el alcance de éstos también se corroboró en esta fase de los trabajos. Se debían llevar a cabo una batimetría de 50 km. de río, más la franja más próxima en la desembocadura.

*Ilustración 4. Área de estudio prevista LIDAR+Ortofotos.*

## **FASE SEGUNDA DE LOS TRABAJOS:**

### **LIDAR, ORTOS, BATIMETRÍA, TRABAJOS COMP. DE CAMPO Y MODELOS DIGITALES**

Esta etapa de los trabajos se realizó durante el segundo semestre del año 2013. En ella se llevaron a cabo todos los trabajos relativos a vuelo LIDAR y Batimetría, tanto en el ámbito de labores de campo, para tomar los datos necesarios, como en materia de actividades de gabinete, para procesar dichos datos y obtener así los modelos digitales precisos para estudios posteriores en las siguientes fases.

En base a todas las labores e información recaba se elaboró el documento FASE SEGUNDA: LIDAR, ORTOS, BATIMETRÍA, TRAB. COMPLEMENT. DE CAMPO Y MODELOS DIGITALES, cuyo contenido viene estructurado según e siguiente índice:

1.- OBJETO Y CONTENIDO DEL DOCUMENTO.

2.- BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DESARROLLADOS.

DOCUMENTACIÓN ANEXA:

ANEXO 1: DOCUMENTOS RELEVANTES EN MATERIA DE GESTIÓN DE PERMISOS.

ANEXO 2: MEMORIA BATIMETRÍA.

ANEXO 3: MEMORIA VUELO LIDAR.

Ya en la fase primera de los trabajos se había puesto en marcha la maquinaria para la organización de los trabajos de campo y obtención de permisos.

Los trabajos de campo se llevaron a cabo en colaboración con las empresas especializadas EDEF (para el vuelo LIDAR y topografía de detalle) y TECNOAMBIENTE (para la batimetría).

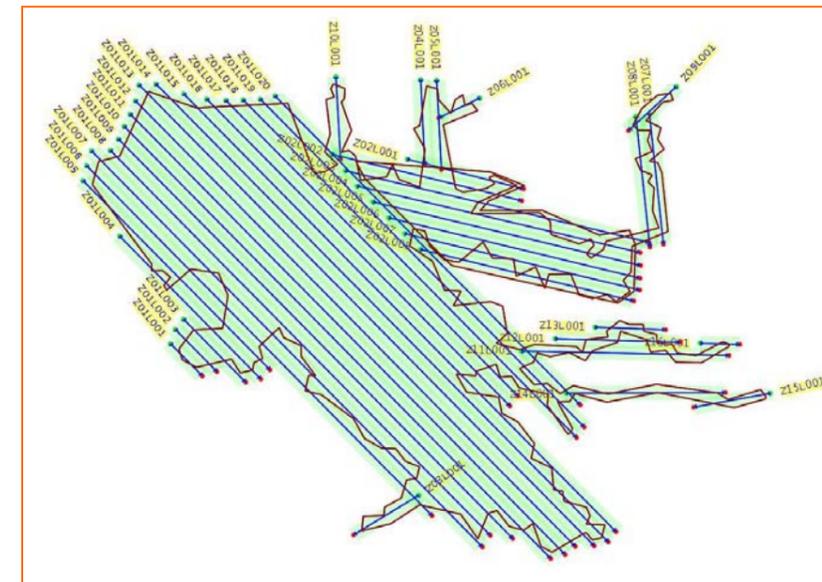
Tras una incesante labor de trámites y contactos para la obtención de permisos, y gracias a la inestimable colaboración de la Agencia de la Cuenca Hidráulica del Loukkos, en el mes de noviembre ya se disponía de los permisos para la realización del vuelo, y entre este mes y el de diciembre se tuvo también autorización para la realización de la batimetría en el río Loukkos y en su desembocadura.

Las labores que se llevaron a cabo las resumimos a continuación:

→ Vuelo LIDAR y Ortofotografías.

La realización del vuelo propiamente dicha se llevó a cabo por la empresa especializada Geodata Air (habitual colaboradora de EDEF en la realización de vuelos), que contó con un avión bimotor Cessna 421-C equipado con sensor LIDAR Leica ALS60 y cámara fotográfica digital de medio formato RCD105, de 39 megapíxeles.

*Ilustración 6. Gráfico de planes de vuelo.*



Durante la ejecución del vuelo LIDAR, se registraron los siguientes datos:

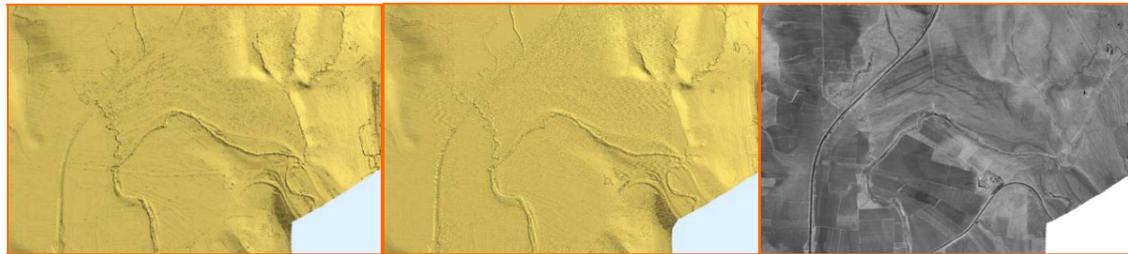
- Raw Laser: datos brutos procedentes del sensor en formato \*.scn
- Datos inerciales (GPS-IMU): procedentes del sistema inercial y GPS

Como resultado del procesamiento de estos datos se digitalizaron 2.257 imágenes de Alta Resolución y 1.500 millones de puntos.

Seguidamente, se procedió a la orientación de estos datos, obteniéndose las orientaciones externas de los fotogramas, las fotocoordenadas ajustadas de los puntos de enlace, las coordenadas terreno de los puntos de enlace y un fichero descriptivo del proceso con todos los parámetros de configuración, inputs, outputs y precisiones de cada fase del ajuste.

Finalmente, una vez realizado el procesamiento y tratamiento de los datos generados y asegurada la calidad del proceso, se confecciona un Modelo Digital del Terreno (MDT) y un Modelo Digital de Superficie (MDS), en formato ASCII GRID de ARC-INFO, y un Modelo Digital de Intensidad (MDI), en formato de imágenes TIF de resolución 1 m, compuestos por un total de 409 HOJAS a escala 1:2.000 de dimensiones 9x6, esto es, de 1800 metros de largo por 1600 m de ancho.

**Ilustración 7.** Hojas de muestra de MDT, MDS y MDI.



Por otro lado, las ortofotografías entregadas se han generado manteniendo un solape no inferior al 15% entre ortofotos contiguas.

Para la obtención de dichas ortofotografías se realizó un proceso de ortorectificación, corrección y equilibrado radiométrico, trazado de la línea de mosaico y, por último, suavizado radiométrico y geométrico.

Con todo ello, se obtuvieron los ficheros resultantes, generados en formato TIFF 6 plano y acompañados de los archivos de georreferenciación TFW en el sistema de referencia definido. Todo ello es observable en soporte digital.

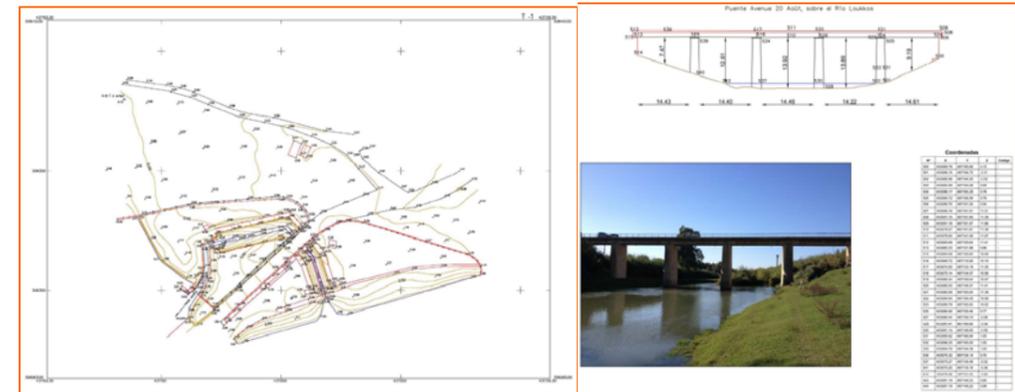
Por último, comentar que si bien el área inicial prevista que debía abarcar el LIDAR era de 56.100 hectáreas, finalmente se ha conseguido abarcar una extensión de ortofotos del orden de 67.400 hectáreas, y un área de MDT que ronda las 63.100 hectáreas.

El sistema de referencia altimétrico es el NGM (Nivelación Geométrica de Marruecos), y el sistema cartográfico de representación es el Merchich/Norte de Marruecos – Proyección Cónica de Lambert Conforme.

→ Topografía de detalle.

Se llevó a cabo un estudio topográfico de detalle, en el que se levantaron las principales estructuras existentes en los ríos, y se realizaron cinco taquimétricos.

**Ilustración 8.** Izquierda: Taquimétrico de detalle I. Derecha: Plano de detalle de estructura sobre el río Loukkos.



→ Batimetría.

Entre los meses de octubre y diciembre de 2013 se llevaron a cabo los estudios batimétricos incluidos en este proyecto, los cuales han servido para la generación del Modelo Digital del Terreno de la zona sumergida, permitiendo así determinar con exactitud su profundidad.

Para la realización de estos estudios, se desarrollaron los siguientes trabajos:

- Levantamiento batimétrico con ecosonda monohaz del río Loukkos en su tramo final.
- Levantamiento batimétrico con ecosonda multihaz en la desembocadura del río Loukkos y en un área exterior.

Por otro lado se realizó también la adquisición de datos de corrientes en la desembocadura mediante la instalación de correntímetros.

La campaña de batimetría con ecosonda monohaz se basó en un proyecto compuesto por 800 líneas paralelas, con una longitud media de 150 metros, y separadas 50 metros entre sí. Asimismo, se sondaron líneas atravesadas a las que conforman el proyecto principal y que sirvieron como control de calidad de los datos adquiridos. Como resultado del proceso de adquisición, calibración y procesado de datos, se obtuvo un archivo XYZ en formato texto que se empleó para la realización del modelo digital del terreno de la zona estudiada.

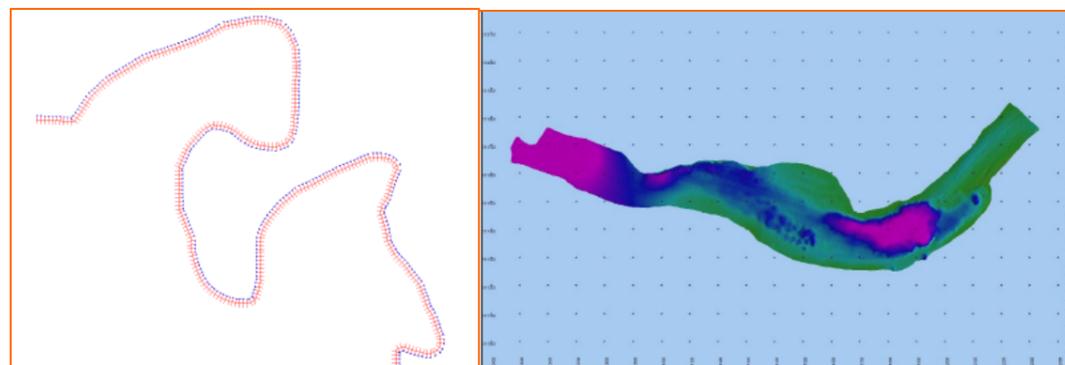
**Fotografía 7.** Imágenes durante los trabajos batimétricos.



En cuanto al levantamiento topográfico con ecosonda multihaz, éste se basó en un proyecto de líneas paralelas, tomadas con un ángulo de haz de 120°, lo que implica un ancho de barrido de 3,5 veces la profundidad de estudio. Como consecuencia de la variación constante de la profundidad en la zona de estudio, la separación de líneas varía de una a otra.

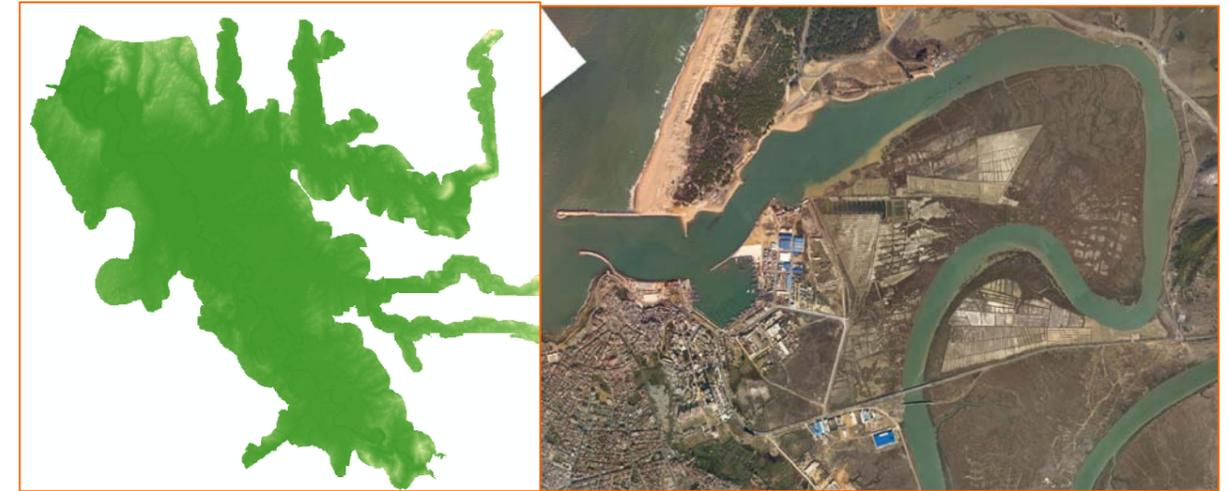
Por último, en cuanto a la adquisición de datos de corriente, ésta se ha realizado mediante la instalación de correntímetros monopunto instalados en la zona de estudio. Con estos equipos, se registran tanto velocidad como la dirección de la corriente, además de otros parámetros como presión y temperatura, consiguiendo, tras un análisis exhaustivo de los mismos, modelar el sistema hidrodinámico de la zona de estudio.

**Ilustración 9.** Izquierda: detalle de proyecto de líneas para la campaña batimétrica con ecosonda monohaz. Derecha: vista general en 2D del MDT obtenido del estudio con ecosonda multihaz.



Toda la información obtenida con los trabajos de campos ha sido la base de la confección de los modelos digitales del terreno. El volumen de datos procesado ha sido cuantiosísimo, con hasta 1.500 millones de puntos. La información generada a raíz de estos trabajos se ha entregado necesariamente en soporte digital, ocupando un espacio de disco duro de más de 400 GB de memoria.

**Ilustración 10.** Izquierda: nube de puntos Raster. Derecha: ortofoto del estuario.



## **FASE TERCERA DE LOS TRABAJOS:**

### **ESTUDIO HIDRÁULICO**

Con los modelos digitales del terreno encima de la mesa, en esta tercera etapa se daba comienzo a los estudios y análisis hidráulicos realizados en este primer semestre del año 2014, llevados a cabo con la ayuda de la aplicación informática INFOWORKS RS, en dos dimensiones.

Estos trabajos llevan aparejada la obligatoriedad de realizar otras labores, tales como el estudio de dinámica marítima, análisis a menor escala de la zona de estudio, clasificación del suelo, o preparación de planos, y su gestión en soporte SIG.

Uno de los objetivos fundamentales de esta etapa ha sido la obtención de los límites de inundación para diferentes periodos de retorno y analizar los niveles de daño y peligrosidad en la zona de estudio.

Toda la información generada en esta fase se ha maquetado en el documento FASE TERCERA: ESTUDIO HIDRÁULICO, con el siguiente índice de contenido:

- 1.- OBJETO Y CONTENIDO DEL DOCUMENTO.
- 2.- RECORDATORIO SOBRE TRABAJOS LIDAR, TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS.
- 3.- DINÁMICA MARÍTIMA Y NIVELES DE MAREA.
  - 3.1. INTRODUCCIÓN Y MARCO DEL ESTUDIO.
  - 3.2. DATOS DE PARTIDA.
  - 3.3. CLIMA MARÍTIMO. ESTUDIO DE MAREAS.
  - 3.4. COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO EN EL ESTUARIO.
  - 3.5. RESULTADOS.
  - 3.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LA MAREA.
- 4.- ELABORACIÓN DE PLANIMETRÍA DE TRABAJO.
- 5.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED HIDROGRÁFICA.
- 6.- CLASIFICACIÓN DEL SUELO.
- 7.- ESTUDIO HIDRÁULICO.
  - 7.1. INTRODUCCIÓN. APLICACIÓN INFORMÁTICA 2D.

7.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO.

7.3. LÍMITES DE INUNDACIÓN.

7.4. LÍNEAS DE CAUCE PÚBLICO Y ZONAS DE PROTECCIÓN.

7.5. FLUJO PREFERENTE Y VÍA DE INTENSO DESAGÜE.

7.6. ESTUDIO SOBRE LA PERMANENCIA DE LA INUNDACIÓN.

7.7. COMPARACIÓN DE EVENTOS CON UNA SITUACIÓN DE INUNDACIÓN SIN DAR KHROFA.

8.- IDENTIFICACIÓN DE NIVELES DE DAÑO (PELIGROSIDAD).

9.- ESTABLECIMIENTO INICIAL DE VÍAS DE EVACUACIÓN.

10.- TRATAMIENTO DE RESULTADOS EN SOPORTE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

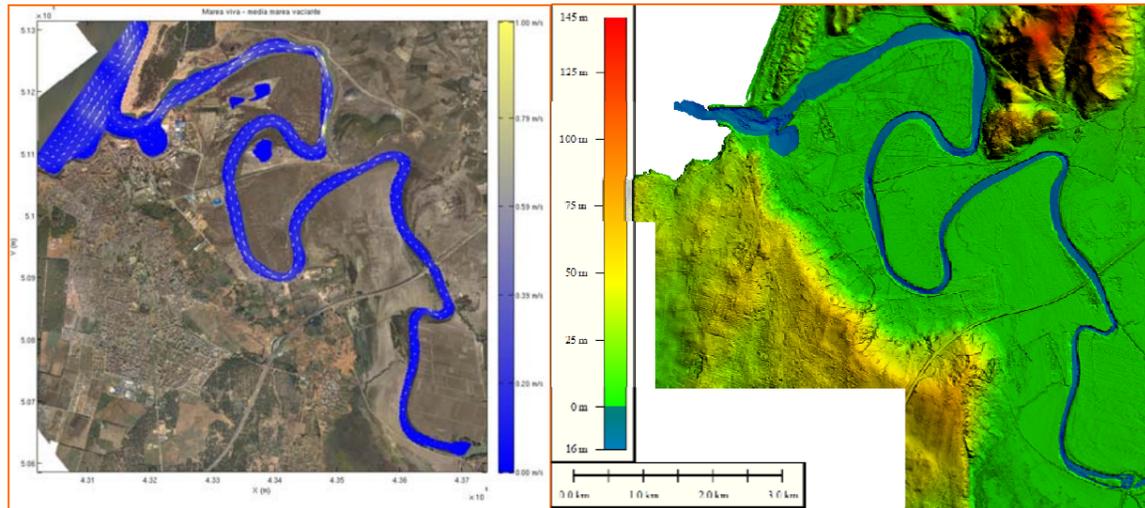
11.- CONCLUSIONES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Como decíamos, una de las labores necesarias de esta fase ha consistido en el **estudio de dinámica marítima**. El objetivo final de este análisis ha sido establecer las condiciones de contorno en la desembocadura del Loukkos, en términos de nivel de marea. Aparte, se ha desarrollado un estudio más amplio, en el que se realiza un análisis de dinámica de la marea en el interior del estuario.

Debido a las características geográficas asociadas a la inundación a lo largo del cauce del río Loukkos, el presente estudio se ha centrado en las ondas de marea de carácter astronómico y meteorológico. Éstas son capaces de propagarse a lo largo del cauce hasta varios kilómetros aguas arriba. La marea es, junto a los propios caudales de avenida del río, uno de los principales factores que dan a lugar a las inundaciones en el tramo del estuario.

Por su parte, el estudio de la afección producida por la inundación debido a la acción de la marea en el río Loukkos se ha realizado mediante la simulación de una colección de casos con un modelo hidrodinámico avanzado. El modelo tiene como principal forzamiento la acción de la marea. La caracterización de la marea se ha realizado, como decíamos, a partir del estudio de sus componentes, la marea astronómica y la marea meteorológica, en la zona del estudio (Larache) según una serie de bases de datos. El modelo hidrodinámico numérico empleado es el Delft3D-FLOW desarrollado por la *Delft University of Technology* en Holanda y de uso ampliamente extendido dentro de la comunidad científica y el ámbito de la ingeniería de costas.

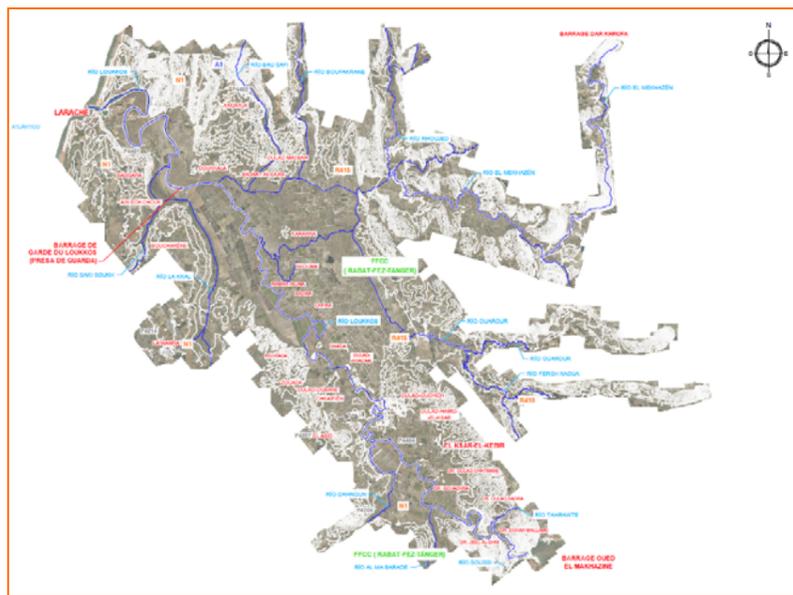
**Ilustración 11.** Modelos en el estudio de hidrodinámica mareal.



Otra labor previa fundamental ha sido la confección de una **planimetría de trabajo**.

En efecto, la información que se recibe consecuencia de la segunda fase es una cantidad ingente de datos, que hay que adaptar a las necesidades del estudio y a las posibilidades de su presentación en papel. En este sentido, se han generado distintos tipos de juegos de planos, para la representación de los resultados del proyecto.

**Ilustración 12.** Plano tipo del ámbito volado, con representación de elementos y curvas de nivel maestras.



Sobre dicha planimetría, y en base a ella, se ha realizado una **caracterización** más precisa de la zona y de su **red hidrográfica**. Igualmente, tomando también como base las ortofotos generadas con el vuelo, se ha podido llevar a cabo una clasificación de los usos del suelo (tomando como clasificación de referencia la establecida en el Plan de Prevención de Avenidas en Cauces Urbanos Andaluces - PCAI).

Con todo esto como pasos previos, se pudo empezar el **estudio hidráulico** en 2D, haciendo uso de la aplicación informática INFOWORKS.

InfoWorks es un programa informático específico para el estudio hidráulico de cauces en dos dimensiones, utilizado a escala mundial. En España está siendo ampliamente usado, y son de destacar los casos de las cuencas del Duero, Júcar, Ebro y Tajo. Es en definitiva un programa de gran potencia y solvencia.

Esta aplicación informática resuelve todas las posibilidades de flujo, aportando resultados en régimen No Permanente y Variado, e incluso en el Rápidamente Variado. Las salidas del programa son múltiples, y así tenemos, por ejemplo, valores de velocidad, calado, o incluso dirección y sentido de la corriente.

Pues bien, haciendo uso de esta aplicación se ha montado un modelo hidráulico para la zona de estudio correspondiente al tramo bajo del río Loukkos, entre la presa de El Makhazine y la desembocadura.

**Ilustración 13.** Imagen 3D del MDT en IW2D.

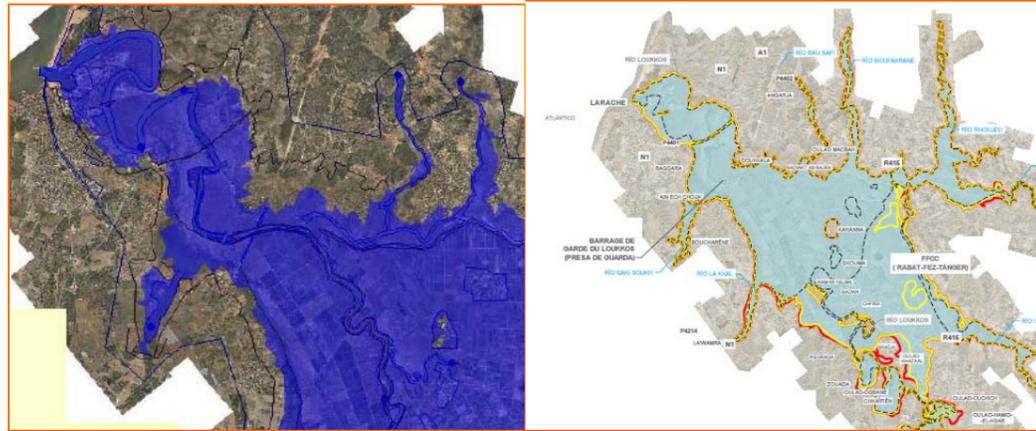


Para ello se ha hecho uso de todos los datos de partida estudiados, tales como resultados del estudio hidrológico, análisis de mareas, infraestructuras existentes, clasificación del suelo, etc.

Se han realizado múltiples simulaciones, que ha supuesto un gran coste computacional. Según que simulación se podía llegar a un tiempo de cálculo informático del orden de días.

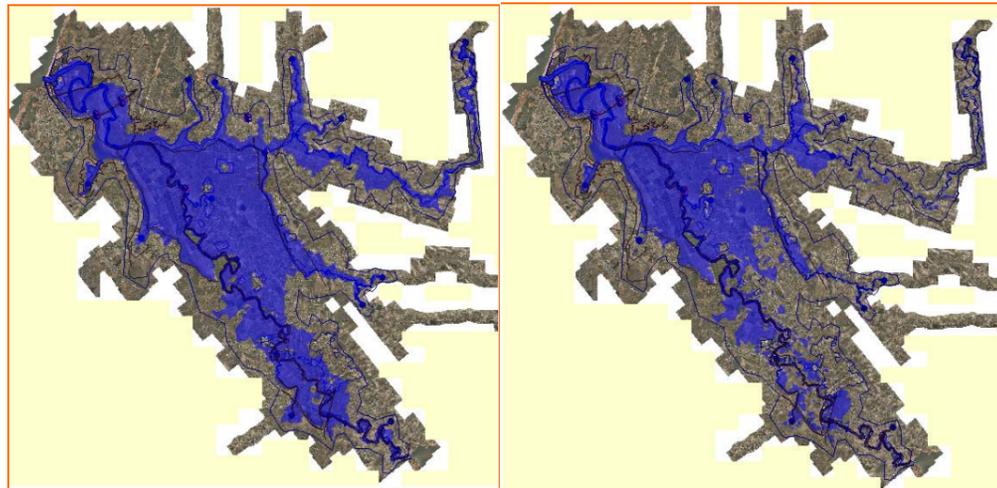
Los cálculos se han llevado a cabo para periodos de retorno de  $T=2, 5, 10, 30, 50, 100, 500$  y  $1.000$  años. Los resultados obtenidos han sido tratados para su representación en planimetría de trabajo.

**Ilustración 14.** Izquierda: inundación en interfaz de IW. Derecha: inundación en planimetría de trabajo.



Con ayuda de la aplicación INFOWORKS se han representado también las líneas de **inundación peligrosa, vía de intenso desagüe y flujo preferente**. Aparte, se han podido analizar también los fenómenos de **permanencia de la inundación**.

**Ilustración 15.** Izquierda: inundación máxima  $T=500$ . Derecha: inundación remanente 24 horas desde el máximo.



En base a los resultados obtenidos con IW, se han podido también clasificar los **niveles de daño** para distintos periodos de retorno, valorando así la **peligrosidad**.

**Ilustración 16.** Distinción de Niveles de Daño, en Importante y Leve, según el calado y la velocidad.

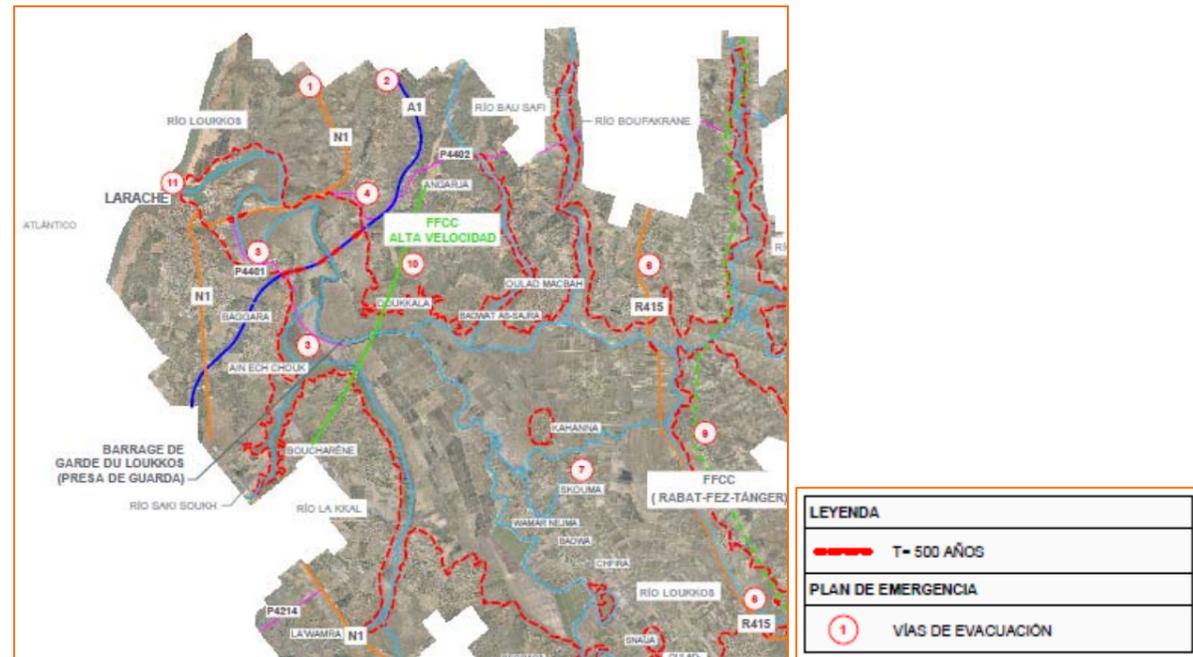


La clasificación anterior precisa de la distinción entre dos valores de velocidad y dos valores de calado, si bien en INFOWORKS podemos observar cuantos niveles deseemos.

**Ilustración 17.** Distinción de velocidades en un momento de la simulación proporcionado por INFOWORKS.

Por su parte se han estudiado también las vías de comunicación en situaciones de eventos extraordinarios discerniendo entre su operatividad o no como vía de evacuación.

**Ilustración 18.** Recorte de plano sobre vías de evacuación.



A partir de todo lo anterior, finalmente, en el estudio realizado en esta fase tercera, se llegan a unas conclusiones bastante pesimistas en el sentido de considerar que la zona de estudio presenta un problema potencial muy importante en materia de inundaciones.

Ante eventos extraordinarios superiores a  $T=100$  años, se produce una inundación muy generalizada en prácticamente toda la llanura del Loukkos, Ouarorur y Mekahzen. Las vías de comunicación quedarían, en un alto porcentaje, interrumpidas en algún punto consecuencia de la inundación.

Para eventos de periodos de retorno inferiores, ciertamente la inundación no se observa tan extensa, pero sigue siendo preocupante, y sobre todo en la zona de estuario y confluencia Mekhazen-Loukkos.

En general, según qué eventos, no sólo el suelo agrícola se ve afectado por la inundación, sino también douares y áreas urbanas de Larache y Ksar El Kebier.

Estas conclusiones han sido fundamentales como pistoletazo de salida para la elaboración de las fases cuarta y quinta. En una, culminando el diagnóstico de la situación actual con la clasificación en niveles de riesgo, y proponiendo el plan de medidas, y en la otra, diseñando un plan de emergencia y contingencia.

Por otro lado, uno de los trabajos que también se han llevado a cabo, ha sido el procesado y entrega de la información resultante pertinente en **GIS (Sistema de Información Geográfica)**.

## FASE CUARTA DE LOS TRABAJOS:

### NIVELES DE RIESGO Y PLAN DE MEDIDAS

En base al estudio hidráulico, en esta fase cuarta se lleva a cabo una clasificación del riesgo, partiendo del Plan de Prevención de Avenidas en Cauces Urbanos Andaluces, y tomando en cuenta naturalmente los criterios locales de la administración marroquí.

A raíz de los resultados obtenidos, se propone un paquete de limitaciones de uso en zonas inundables y se estudian distintas alternativas de actuación. Dichas propuestas concretas, a su vez, quedan enmarcadas en un plan de medidas, valorado estimativamente para su desarrollo en un marco temporal 2015-2030, horizonte del PDAIRE -"Proyecto de Plan Maestro de Desarrollo de la Cuenca Hidrográfica del Loukkos".

Toda la documentación que se ha generado en esta fase queda maquetada en el documento FASE CUARTA: NIVELES DE RIESGO Y PLAN DE MEDIDAS, que presenta el siguiente índice:

#### 1.- OBJETO Y CONTENIDO DEL DOCUMENTO.

#### 2.- DEFINICIÓN DE NIVELES DE RIESGO.

#### 3.- LIMITACIONES DE USOS EN ZONAS INUNDABLES.

##### 3.1. INTRODUCCIÓN.

##### 3.2. RESUMEN DEL MARCO NORMATIVO EN MATERIA DE AGUAS EN EL REINO DE MARRUECOS.

##### 3.3. NORMATIVA DE REFERENCIA ANDALUZA PARA LA DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA DE LIMITACIONES DE USO.

##### 3.4. PROPUESTA DE LIMITACIONES DE USO.

#### 4.- PLAN DE MEDIDAS.

##### 4.1. INTRODUCCIÓN.

##### 4.2. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE MEDIDAS.

##### 4.3. ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS CONCRETAS DE ACTUACIÓN EN EL CAUCE PARA LA DEFENSA FRENTE A AVENIDAS.

###### 4.3.1. INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS.

###### 4.3.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN.

###### 4.3.3. PROPUESTAS CONCRETAS DE ACTUACIÓN.

###### 4.3.4. PROPUESTA ALTERNATIVA 1: PROTECCIÓN SUELO URBANO Y AGRÍCOLA.

###### 4.3.5. PROPUESTA ALTERNATIVA 2: PROTECCIÓN SUELO URBANO.

###### 4.3.6. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS ACTUACIONES PROPUESTAS.

#### 4.4. VALORACIÓN ESTIMATIVA DEL PLAN DE MEDIDAS Y CALENDARIO.

La primera etapa de esta fase ha consistido en la **clasificación del suelo en niveles de riesgo** a raíz de los resultados de la fase anterior. Para ello, como decíamos, se parte del PCAI andaluz, tomando en cuenta también criterios indicados por la ABHL. De esta manera, la tabla clasificatoria que se confeccionó fue la siguiente:

**Tabla 2. Definición de Niveles de Riesgo.**

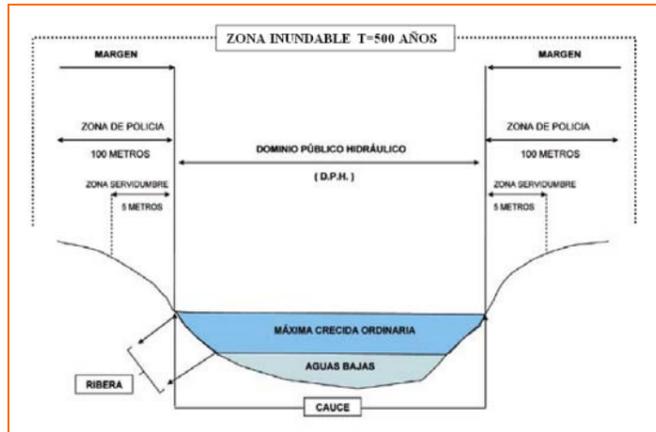
| DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO                                 |   |                                     |            |            |   |
|---|---|-------------------------------------|------------|------------|---|
| CLASIFICACIÓN DEL SUELO PARA LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO | MAGNITUD DEL DAÑO   | FRECUENCIA O POSIBILIDAD DEL SUCESO |            |            |   |
|   |   | T=30 AÑOS                           | T=100 AÑOS | T=500 AÑOS |   |
| Ámbito Urbano (Afección a Viviendas)                                | 5 o más viviendas (núcleos urbanos de primer orden y douares)   | Importante                          | A          | A          | A |
|   |   | Leve                                | B          | B          | C |
|   | Menos de 5 viviendas (diseminados edificación aislada)  | Importante                          | A          | A          | B |
|   |   | Leve                                | C          | C          | C |
| Suelo con uso agrícola  | Parcelas de cultivo, invernaderos, inst. de riego,...   | Importante                          | B          | B          | C |
|   |   | Leve                                | C          | C          | D |
| Equipamientos y Servicios Básicos                                   | Colegios, hospitales, centros residenciales, ayuntamientos, instalaciones gubernamentales,...           | Importante                          | A          | A          | A |
|   |   | Leve                                | B          | B          | C |
|   | Otros equipamientos: abastecimiento, electricidad,...   | Importante                          | A          | A          | A |
|   |   | Leve                                | C          | C          | C |
| Infraestructuras de comunicación                                    | De primer orden: autopistas, carreteras nacionales, arterias principales de comunicación, FFCC, etc,... | Importante                          | A          | A          | B |
|   |   | Leve                                | B          | C          | C |
|   | Secundarias: vías de servicio, caminos rurales, comunicación entre diseminados y douares.               | Importante                          | A          | B          | C |
|   |   | Leve                                | B          | C          | C |
| Instalaciones industriales  | Áreas industriales, instalaciones industriales aisladas,...   | Importante                          | A          | A          | B |
|   |   | Leve                                | C          | C          | C |
| Otros   | Suelo sin edificar en entorno urbano (áreas de esparcimiento y deporte, posible urbanizable,...)        | Importante                          | B          | C          | D |
|   |   | Leve                                | D          | D          | D |
|   | Suelo sin Labor (erial, monte bajo, bosque,...)   | Ambos                               | D          | D          | D |

En dicha tabla se introducía el periodo de retorno de T=30 años (en lugar de T=50), por ser éste un valor de referencia en el país vecino, y se le daba alta importancia a la inundación del suelo agrícola, por considerarse éste como principal y fundamental motor económico en la zona de estudio.

Con todo ello, la clasificación del riesgo así definida no hizo otra cosa más que confirmar las conclusiones obtenidas en la fase tercera. Es decir, se ha obtenido un mapa en el que el más del 60% del suelo está clasificado con la letra B, vislumbrándose así el elevado riesgo potencial que presenta la zona de estudio ante las avenidas.

A partir de los resultados anteriores pasamos a la etapa de propuestas, en la que, en primer lugar se propusieron una serie de **limitaciones de uso**, amparadas principalmente en la normativa española y andaluza.

**Ilustración 19.** Identificación de DPH, Policía, Servidumbres y Zona Inundable.



**Tabla 3.** Limitaciones de usos en zonas inundables bajo periodos de retorno de T=30, 100 y 500 años.

| LIMITACIONES DE USO EN ZONAS INUNDABLES                     |  |   |                      |
|---|--|---|----------------------|
| Zona afectada por avenida de 30 años de período de retorno  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificaciones o instalaciones temporales o permanentes.</li> <li>- Excepcionalmente, y por razones justificadas de interés público, se podrán autorizar instalaciones temporales.</li> <li>- Acampadas y campings.</li> </ul> |   | SUELO NO URBANIZABLE |
| Zona afectada por avenida de 100 años de período de retorno | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrias pesadas.</li> <li>- Industrias contaminantes según la legislación vigente</li> <li>- Industrias con riesgo inherente de accidentes graves.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipamientos, lagunas y edificios de campos de golf.</li> <li>- Depósito y/o almacenamiento de productos, objetos, sustancias o materiales diversos, que puedan afectar el drenaje de caudales de avenidas extraordinarias o al estado ecológico de las masas de agua o pueda producir alteraciones perjudiciales del entorno afecto al cauce.</li> </ul> |                      |
| Zona afectada por avenida de 500 años de período de retorno | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrias contaminantes según la legislación vigente</li> <li>- Industrias con riesgo inherente de accidentes graves.</li> </ul>   |   |                      |

En segundo lugar se elaboró un **Plan de Medidas** que incluye actuaciones en virtud de la prevención de inundaciones en la zona de estudio. Dicho Plan presenta un marco temporal futuro hasta 2030 (horizonte del PDAIRE - “Proyecto del Plan Maestro de Desarrollo Integral de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidráulica del Loukkos”).

El plan de medidas, que queda también valorado estimativamente en el documento elaborado, está constituido por el siguiente paquete de actuaciones de carácter general, que tiene como objetivos principales la prevención de inundaciones, la ordenación del suelo inundable, y la puesta en valor de los aspectos ambientales y ecológicos del dominio público hidráulico:

**Ilustración 20.** Plan de medidas y calendario propuesto.

| CALENDARIO PROPUESTO PARA EL PLAN DE MEDIDAS  |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| LÍNEAS DE ACTUACIÓN GENERALES   | 2015 | 2018 | 2020 | 2023 | 2025 | 2028 | 2030 |
| 1. Ampliación del marco normativo existente en materia de aguas en aras de la concreción de los criterios para la delimitación del Dominio Público Hidráulico y establecimiento de Zonas Inundables.                                  |      |      |      |      |      |      |      |
| 2. Desarrollo y concreción del marco normativo existente en materia de ordenación urbanística y proyección del mismo a nivel local para la realización y/o adaptación de los planes territoriales y municipales.                      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3. Elaboración de un plan de prevención de avenidas e inundaciones con el establecimiento de limitaciones de usos en zonas inundables.  |      |      |      |      |      |      |      |
| 4. Delimitación del Dominio Público Hidráulico.   |      |      |      |      |      |      |      |
| 5. Actuaciones hidráulicas de defensa frente a avenidas, y desagüe de las escorrentías de las márgenes, siguiendo los criterios básicos establecidos en el plan de prevención de avenidas e inundaciones citado antes.                |      |      |      |      |      |      |      |
| 6. Ordenación y reubicación de los usos que ya se están desarrollando con el fin de dar cumplimiento a los documentos anteriores y a raíz de las actuaciones concretas para la contención de avenidas.                                |      |      |      |      |      |      |      |
| 7. Actuaciones para potenciar los usos recreativos del DPH y los valores ambientales, inclusive la elaboración de Planes de Usos para las presas y su puesta en práctica.   |      |      |      |      |      |      |      |
| 8. Campañas de difusión, asimilación y concienciación en el ámbito del respeto a las Zonas Inundables y de Dominio Público Hidráulico, y por ende, al marco legislativo y documentos anteriores.                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9. Actuaciones hidrológico-forestales en el entorno de estudio con motivo de aumentar la capacidad de retención del suelo.  |      |      |      |      |      |      |      |
| 10. Revisión de la capacidad de laminación de los embalses de El Makhazine y de Dar Khrofa, y la necesidad o no de ejecución de nuevas presas para el incremento de la regulación de la cuenca y poder de prevención de inundaciones. |      |      |      |      |      |      |      |
| 11. Elaboración de planes de emergencia y contingencia en caso de inundaciones, y, por ende, en caso de rotura de presas.   |      |      |      |      |      |      |      |
| 12. Ampliación del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) y confección e implantación de un Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD).   |      |      |      |      |      |      |      |

Una de las medidas más destacadas es aquella relativa a las **actuaciones concretas de protección** de los cauces para la contención de inundaciones. En este punto se han estudiado dos alternativas conceptualmente diferentes: la primera evita la inundación tanto del suelo urbano como del suelo agrícola, y la segunda viene a proteger fundamentalmente el suelo de carácter urbano (tendencia andaluza).

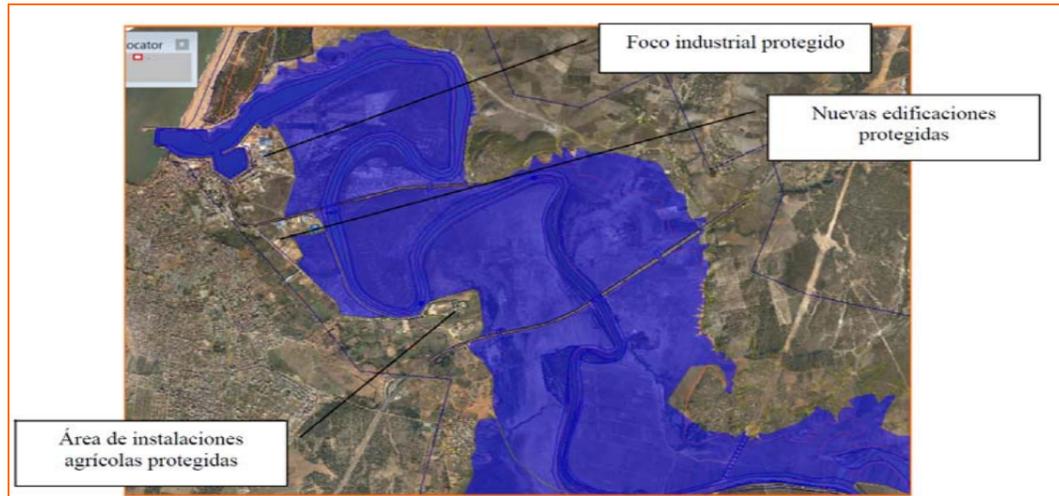
El tipo de protección ha sido fruto también de un **análisis de alternativas**, habiendo considerado desde las actuaciones más agresivas de desvíos y “cortas” en el cauce, hasta la elevación de las márgenes del mismo. Igualmente se han puesto sobre la mesa propuestas de protección duras como las de muros de hormigón o uso de escolleras, hasta actuaciones más blandas como el tratamiento de taludes haciendo uso de técnicas de bioingeniería.

**Fotografía 8.** Izquierda: encauzamiento del río Chillar en Nerja (Málaga) mediante escollera. Derecha: sección tipo de protección de taludes con técnicas de bioingeniería.

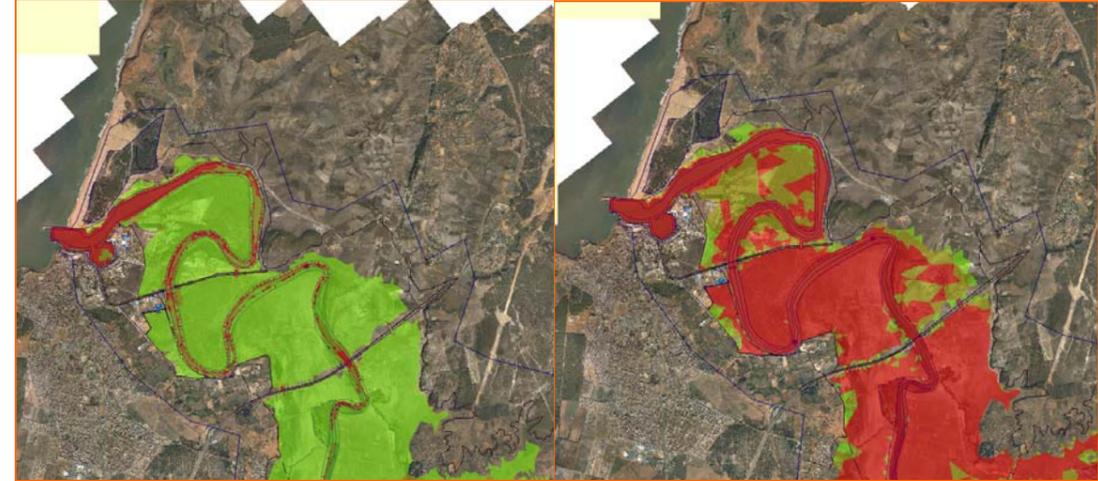


Las medidas propuestas han sido analizadas hidráulicamente haciendo uso de la aplicación informática INFOWORKS. El evento considerado, siguiendo el criterio de la ABHL, ha sido el de T100.

**Ilustración 21.** Inundación en el estuario del Loukkos ante una de las propuestas.



**Ilustración 22.** Estuario del Loukkos. Izquierda: diferencia de velocidades máximas (en rojo mayor de 1 m/s). Derecha: diferencia de calados (en rojo mayor de 1 m.).



Por último, partiendo de precios de mercado en el país vecino, se ha procedido a una **valoración económica** de las distintas alternativas propuestas, y del plan de medidas, obteniéndose una inversión media anual determinada entre los años 2015 y 2030, horizonte del PDAIRE. Más información al respecto se puede cotejar en los documentos del proyecto.

## **FASE QUINTA DE LOS TRABAJOS:**

### **PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA**

---

En esta fase, que pone fin a los trabajos encomendados, se ha elaborado un Plan de Emergencia y Contingencia en la zona de estudio. Para ello se ha partido de experiencias españolas y andaluzas, tomando muy en cuenta además las consideraciones locales de la administración marroquí, y contenidas en el plan de emergencia que la ABHL tiene elaborado para el río Martil.

Se han estudiado también escenarios extremos de inundaciones provocados por la rotura de presas, como las de Dar Khrofa y El Makhazine.

Toda la información generada ha quedado incluida en el documento FASE QUINTA: PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA, cuyo contenido se desarrolla siguiendo este índice:

#### 1.- OBJETO Y CONTENIDO DEL DOCUMENTO.

#### 2.- FUNDAMENTOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA.

##### 2.1. INTRODUCCIÓN.

##### 2.2. LÍNEAS PRINCIPALES Y FUNCIONES BÁSICAS DEL PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA.

##### 2.3. MARCO LEGAL Y COMPETENCIAL.

##### 2.4. PROTECCIÓN CIVIL Y CONTACTOS CON ORGANISMOS.

##### 2.5. ÁMBITO DE APLICACIÓN.

##### 2.6. MEDIO FÍSICO Y ENTORNO GEOGRÁFICO.

##### 2.7. ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES POR AVENIDA.

##### 2.8. INUNDACIÓN COMO CONSECUENCIA DE ROTURA DE PRESAS.

#### 3.- DEFINICIÓN DE LAS SITUACIONES DE EMERGENCIA Y SUS ESCENARIOS.

##### 3.1. INTRODUCCIÓN.

##### 3.2. FASES Y SITUACIONES DE EMERGENCIA ANTE INUNDACIÓN POR AVENIDAS.

##### 3.3. ESCENARIOS DE EMERGENCIA ANTE INUNDACIÓN POR ROTURA DE PRESAS.

##### 3.4. NIVELES DE ALERTA EN LA ACTIVACIÓN DEL PLAN.

##### 3.5. COORDINACIÓN ENTRE EL PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA Y EL PLAN DE EMERGENCIA DE PRESAS.

#### 4.- ESTRUCTURA, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES.

#### 5.- PROTOCOLOS BÁSICOS DE ACTUACIÓN.

#### 6.- IMPLANTACIÓN, OPERATIVIDAD Y MANTENIMIENTO DEL PLAN.

#### 7.- MEDIOS Y RECURSOS.

En esta fase quinta, para abordar todos los puntos necesarios para la elaboración de un plan de emergencia y contingencia, se han considerado también los siguientes puntos:

- Organización de protección civil en Marruecos y marcaje de líneas del plan.
- Definición de las situaciones de emergencia.
- Elaboración de protocolos de actuación.

Por tanto, para la elaboración del plan se han tenido en cuenta los criterios establecidos desde la Dirección General de Protección Civil de Marruecos (DGPC), así como las directrices y líneas de actuación local definidas a través de diferentes planes regionales de actuación frente a emergencias, como son los siguientes:

- Plan de gestion des situations d'inondations au niveau de la plaine du Martil.
- Plan d'action pour la gestion du risque en milieu urbain du Grand Tétouan.

Además, y con el ánimo y objetivo principal de facilitar y fomentar la transferencia de conocimiento y experiencias relevantes desde el ámbito andaluz al país vecino, se han considerado las estrategias y directrices básicas de actuación de la normativa española, contenidas, entre otros, en los siguientes documentos:

- RESOLUCIÓN de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. (BOE de 14 de febrero de 1995).
- Plan de Emergencia ante el Riesgo de Inundaciones en Andalucía, aprobado por Acuerdo del Consejo de Gobierno el 13 de julio de 2004.
- Plan de Prevención y Actuación ante Inundaciones de Granada, de 2013.

Se han definido dos escenarios diferenciados en situación de emergencia:

- **Emergencia por inundación por avenida extrema.** Esta situación a su vez define una fase de preemergencia y una fase de emergencia, con tres subniveles operativos. Finalmente se define una fase de vuelta a la normalidad o fase de normalización.
- **Escenario de emergencia por rotura de presas.** Se establecen tres escenarios diferentes, en función de la evolución y gravedad de la situación.

Una vez definidas las distintas situaciones y escenarios de emergencia que pueden producirse para las hipótesis de inundación por avenida y por rotura de presas, se han establecido los distintos niveles de alerta en los que se basan los protocolos de actuación del Plan. La nomenclatura para la definición de dichos niveles de alerta se basa en el plan de emergencia del río Martil elaborado por la ABHL.

**Tabla 4.** Niveles de alerta en la activación del plan.

| NIVELES DE ALERTA              | SITUACIÓN<br>Inundación por avenida  | ESCENARIO<br>Rotura de Presa  | OPERATIVA<br>Protocolos de Actuación  |
|--------------------------------|--|---|---|
| <b>VERDE</b><br>(pre alerta)   | <b>Preemergencia</b>   | <b>Escenario 1:</b> escenario de aplicación de medidas correctoras  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunión del Comité de Seguimiento.</li> <li>- Actuaciones preventivas: actividades, carreteras.</li> <li>- Reforzar la vigilancia y la información a la población.</li> <li>- Alerta servicios municipales.</li> </ul>   |
| <b>NARANJA</b><br>(alerta)     | <b>Situación 0. Alerta Hidrológica.</b><br>(puede evolucionar a situación 1 ó 2)                   | <b>Escenario 2.</b> Escenario excepcional: existe peligro de rotura o avería grave                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunión del Comité de Vigilancia.</li> <li>- Reforzamiento de la seguridad.</li> <li>- Control del tráfico en las zonas amenazadas.</li> <li>- Alejamiento y/o evacuaciones preventivas.</li> <li>- Potenciar el mecanismo de información a la población.</li> </ul> |
| <b>ROJO</b><br>(alerta máxima) | <b>Situación 1.</b> Inundación de Áreas Localizadas<br><b>Situación 2.</b> Inundación Generalizada | <b>Escenario 3.</b> Escenario Límite: la probabilidad de rotura de la presa es elevada o ésta ya ha comenzado | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunión de la Célula de Crisis.</li> <li>- Reforzamiento de la Seguridad.</li> <li>- Control de la circulación.</li> <li>- Alejamiento y/o evacuaciones.</li> <li>- Movilización de recursos de rescate y socorro.</li> <li>- Asistencia a evacuados.</li> </ul>     |

En el plan se marcan también las pautas organizativas para su puesta en práctica,

El plan naturalmente incluye los protocolos de actuación según con qué tipo de alerta nos encontremos.

**Tabla 5.** Actuaciones con código de alerta roja.

|  |  |
|--|--|
| <b>Director del Plan</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Declarar la situación de ALERTA ROJA</li> <li>* Reunión de la Célula de Crisis</li> <li>* Asegurar la evacuación de la población de la zona inundable.</li> <li>* Determinar la información a la población.</li> <li>* Determinar el corte de carreteras y caminos locales afectados.</li> <li>* Prohibición de actividades en las zonas potencialmente inundables o en las proximidades de éstas.</li> <li>* Establecer los trabajos prioritarios.</li> <li>* Solicitar la intervención de recursos externos.</li> <li>* Canalizar la información a través del Centro de Comunicaciones.</li> <li>* Coordinar la actuación de los recursos y servicios movilizados para hacer frente a la emergencia en su término municipal.</li> </ul> |
| <b>Gabinete de Información</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Información a la población sobre el estado de situación de la emergencia.</li> <li>* Recibe y transmite información de la situación al Director.</li> <li>* Canalizar sus informaciones y solicitudes de recursos a través del teléfono de asistencia o Red de Radio.</li> </ul>  |
| <b>Célula de Crisis</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Reunión de todos los Directores y Coordinadores intervinientes en el Plan.(CECOP, Comité Asesor, Coordinador de PMA y Coordinador de Presas)</li> <li>* Asesorar al Director del Plan en la determinación de actuaciones.</li> <li>* Dirigir la actuación de los distintos Grupos de Acción.</li> </ul>   |
| <b>G.A de Orden y Control de Tráfico</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Coordinar la evacuación.</li> <li>* Difusión de avisos a la población.</li> <li>* Control de accesos en las zonas potencialmente afectadas.</li> <li>* Alejamiento preventivo de la población de las zonas donde el peligro es inminente.</li> <li>* Cortes de tráfico en los viales locales y en las en las carreteras interurbanas (especialmente en los puentes o en los cruces de los cauces) cuando éstas puedan resultar afectadas por la onda de avenida.</li> </ul>   |
| <b>G.A. Logístico de Apoyo</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Revisión y limpieza de obstáculos.</li> <li>* Levantamiento de diques provisionales y otros obstáculos que eviten o dificulten el paso de las aguas. Control del curso de las aguas en zonas inundadas.</li> <li>* Transporte de evacuados.</li> <li>* Coordinación del abastecimiento a la población afectada. Supervisión de la distribución de provisiones, medicamentos y ayudas externas.</li> <li>* Trasladar órdenes de trabajo a las brigadas de obras.</li> <li>* Restablecimiento de vías de comunicación.</li> <li>* Otros trabajos necesarios para minimizar los efectos de la inundación.</li> <li>* Apoyo logístico a los recursos de intervención movilizados para hacer frente a la situación de emergencia.</li> </ul>   |
| <b>G.A. de Intervención</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Colabora en la evacuación si se da la orden.</li> <li>* Colabora en el rescate y salvamento de las personas.</li> <li>* Minimizar en lo posible las causas y efectos de las inundaciones en personas y bienes.</li> </ul>   |
| <b>G.A. de Asistencia Técnica</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Gestión de los Centros de recepción de evacuados.</li> <li>* Albergue y asistencia de evacuados.</li> <li>* Asistencia a grupos críticos de población.</li> </ul>   |
| <b>G.A. Sanitario</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Asistencia sanitaria.</li> <li>* En caso de rotura de la presa, efectuar pruebas para el control de epidemias e intoxicaciones.</li> <li>* Control de alimentos y bebida.</li> </ul>  |
| <b>Voluntariado</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>* El personal voluntario se integrará en el Grupo de Acción que designe el Director del Plan, fundamentalmente en la de Apoyo Logístico y en la de Albergue y Asistencia en los Centros de Recepción de Evacuados para colaborar en labores de avituallamiento.</li> </ul>  |
| <b>Integración de recursos externos</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Los recursos adscritos al Dispositivo Preventivo antes citado se integrarán en los correspondientes Grupos de Acción coordinados a través del CECOP o el PMA.</li> </ul>  |

Se especifican en el plan también los sistemas de aviso a la población, haciendo uso, por ejemplo, de sirenas.

Ilustración 23. Sistema de alarma mediante sirena.

|                             |                                  |   |  |
|-----------------------------|----------------------------------|---|--|
| <b>SIRENA DE ALARMA</b>     | Duración mínima: 2 minutos       |  <b>SIRENA 2'</b> |  <b>SILENCIO 3'</b> |
| <b>SIRENA FIN DE ALARMA</b> | 30 segundos de sonido continuado |   |  |

Por su parte, también quedan definidos en el documento los criterios para la activación de algún tipo de alerta, en base a un seguimiento meteorológico y pluviométrico.

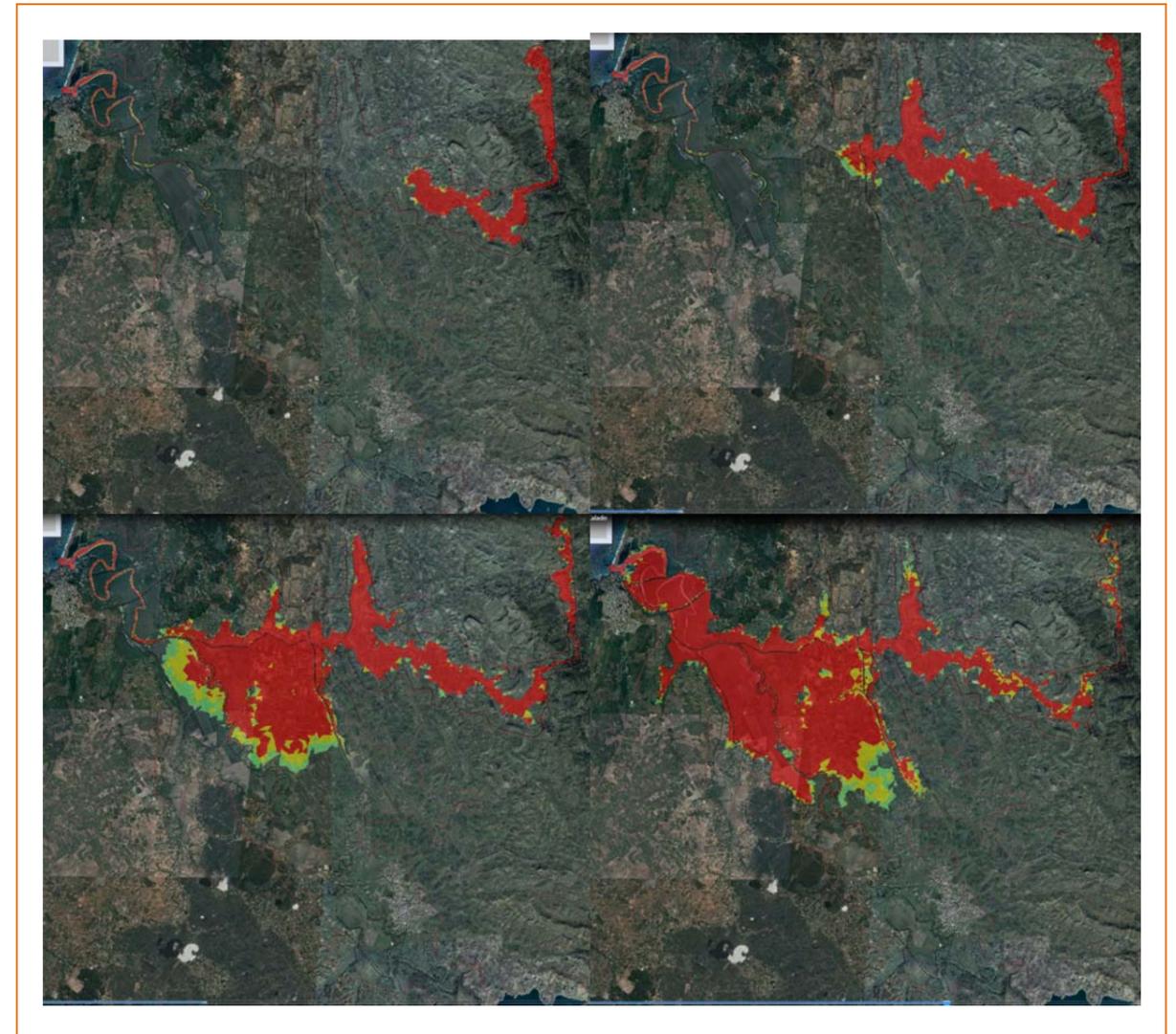
Tabla 6. Niveles de alerta en función de las previsiones de lluvia.

| NIVEL DE AVISO | LLUVIA                        | TORMENTA  |
|----------------|-------------------------------|---|
| <b>VERDE</b>   | 25-30 mm/12 h<br>8-10 mm/1 h  | Tormentas generalizadas con posibilidad de desarrollo de estructuras organizadas. Lluvias localmente fuertes y/o vientos localmente fuertes y/o granizo inferior a 2 cm.  |
| <b>NARANJA</b> | 30-70 mm/12 h<br>10-25 mm/1 h | Tormentas muy organizadas y generalizadas. Posibilidad de lluvias localmente muy fuertes y/o vientos localmente muy fuertes y granizo superior a 2 cm. También es posible la aparición de tornados.                               |
| <b>ROJO</b>    | > 70 mm/12 h<br>> 25 mm/1 h   | Tormentas altamente organizadas generalizadas. Probabilidad de lluvias localmente torrenciales y/o de vientos localmente muy fuertes y/o granizo superior a 2 cm con probabilidad muy alta. Es probable la aparición de tornados. |

El plan también considera la importancia del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) y del SAD (Sistema de Ayuda a la Decisión).

En este contexto, el documento elaborado, como se decía con anterioridad, contiene el estudio de escenarios extremos en caso de rotura de presa, tanto del El Makhazine, como de Dar Khrofa. El análisis hidráulico de esta situación extrema se ha llevado a cabo haciendo uso de la aplicación informática INFOWORKS. Los resultados han sido, como era de esperar, muy comprometidos en términos de alcance y daño de la inundación que se produciría.

Ilustración 24. Proceso de inundación por rotura de Dar Khrofa. Simulación con INFOWORKS.



Por último, tanto ante esta situación, como ante eventos hidrometeorológicos extraordinarios, se ha incluido en el estudio un plan de contingencia, haciendo un análisis de los medios y recursos necesarios para afrontar un fenómeno de este tipo. Asimismo, se han estudiado las vías de evacuación, y localización de sirenas y servicios en situación de emergencia.

Para más información se podrá consultar la documentación entregada a los responsables técnicos de la A.B.H.L y en la web oficial [www.juntadeandalucia.es/medioambiente/pravema](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/pravema).



Socios del proyecto:

