

**Informe final\* del Proyecto CQ061**  
**Dictamen Técnico y Manifestación de Impacto Ambiental para el proyecto de restitución de playas de Cancún**

Responsables: Dr. Domingo Gómez Orea  
Instituciones: Melissa, S. A.  
Dirección: C Enrique Larreta No. 1 Madrid, España. C.P. 28036

Correo electrónico: [gomezorea@ppr.etsia.upm.es](mailto:gomezorea@ppr.etsia.upm.es)  
Teléfono/Fax: Tel.: + 34 91 302 2102, Fax: + 34 91 336 5835  
Fecha de inicio: Septiembre 30, 2004  
Fecha de término: Marzo 14, 2005

Principales resultados: Informe final

Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados: Gómez Orea, D. 2005. Dictamen Técnico y Manifestación de Impacto Ambiental para el proyecto de restitución de playas de Cancún. Melissa, S. A. **Informe final SNIB-CONABIO** proyecto No. CQ061. México D. F.

Resumen: Proyecto financiado con recursos aportados por Empresa Comercial Chemaz, S.A. de C.V. Hotel Riu Palace Las Americas. La infraestructura hotelera, la más importante de México, se ha visto afectada y se encuentra en riesgo debido a la erosión que han tenido sus playas, ya que al no existir estas en varios puntos, se crea un alto riesgo de vulnerabilidad en caso de una recurrencia climatológica similar a la causada en el año de 1988 por el huracán Gilberto, la constante erosión de playas y el no haber sido estas restituidas en forma natural ha causado la pérdida de posicionamiento del destino ya que uno de sus principales atractivos Las Playas en este momento son casi inexistentes. Para la realización de este proyecto de restitución de playas es indispensable contar con un Dictamen Técnico a los estudios elaborados en los últimos 15 años (1988 al 2003) por la Comisión Federal de Electricidad (C. F. E.), la UNAM a través del Instituto de Ingeniería y la SEMARNAT lo que podrá una vez analizados y dictaminados crear las bases y términos de referencia, para la elaboración de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) en los términos del artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA) así como, una vez resuelta esta por la Dirección de Impacto y Riesgo Ambiental de la SEMARNAT, las bases para el Proyecto Ejecutivo de Obra.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que

---

proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



**“DICTAMEN SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLAYA DE NIZUC-CANCUN Y SOBRE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS AL RESPECTO”**

**(CQ061)**

# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS, ANTECEDENTES Y METODO DE TRABAJO</b> .....	4
<b>A) OBJETIVOS</b> .....	4
<b>B) RESUMEN DEL PROCESO</b> .....	4
<b>C) DOCUMENTACIÓN RECIBIDA PARA ANALISIS</b> .....	7
<b>D) REALIZACIÓN DEL TRABAJO</b> .....	9
<b>CAPITULO I.- DICTAMEN SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLAYA DE NIZUC-CANCUN Y DE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS AL RESPECTO.</b>	11
<b>I.1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b> .....	11
<b>I.2.- CONCLUSIONES SOBRE LAS OBSERVACIONES Y LA DOCUMENTACIÓN ANALIZADA. (CAP. II. V)</b> .....	12
<b><u>I.2.1.- SOBRE EL PROYECTO EJECUTIVO, SUS ALTERNATIVAS, FUNCIONALIDAD E IMPACTO</u></b> .....	12
<b><u>I.2.2.- SOBRE LOS ESTUDIOS REALIZADOS Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO EJECUTIVO</u></b> .....	18
<b>I.2.3.- LINEA DE COSTA EXISTENTE Y DE PROYECTO</b> .....	21
<b>I. 2. 4.- RELLENO DE PROYECTO: PERFILES DE SECCIONES TIPO (A, B, C, D)..</b>	23
<b>I.3. MONITOREO Y MANTENIMIENTO</b> .....	25
<b>I.4. EVALUACIÓN DE POSIBLES CAMBIOS EN CORRIENTES Y SUS EFECTOS.</b>	27
<b>I.5. CONSIDERACIONES PARA LAS BASES TECNICAS DE LA M.I.A.</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>I.5.1 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>I.5.2.- CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>CAPITULO II.- INFORME PREVIO: SOBRE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS A PROPOSITO DE LAS PLAYAS DE CANCUN DE LA “DOCUMENTACIÓN PRIMERA”</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II.1 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II.1 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II.2.1.- INFORME FINAL</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II.II.2.- DISCUSIÓN DEL ANEXO TÉCNICO</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II.3.- <u>ANÁLISIS ANEXOS AL DEL INFORME BASADO EN LOS CUATRO ESTUDIOS PARA FONATUR Y OTROS SOBRE LAS PLAYAS DE CANCÚN.</u></b> .	¡Error! Marcador no definido.



**II.3.2 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO Nº 2: SOBRE EL “DIAGNOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE DIVERSAS OBRAS DE RECUPERACIÓN EN EL FRENTE PLAYERO DE PUNTA CANCÚN-PUNTA NIZUC”. (JUNIO DE 1999. Ref. 10) ... ¡Error! Marcador no definido.**

**II.3.3 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO 3.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL. (De la CFE para FONATUR-2001). (PRIMERA ETAPA) ¡Error! Marcador no definido.**

**II.3.3.1.- CUESTION PREVIA.....¡Error! Marcador no definido.**

**II.3.3.2.- CRÍTICA GENERAL .....¡Error! Marcador no definido.**

**II.3.3.3.- CRÍTICA PORMENORIZADA .....¡Error! Marcador no definido.**

**II.3.4 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO 4- SOBRE LOS ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS. (de la CFE para FONATUR, 2000/01) ..... ¡Error! Marcador no definido.**

**CAPÍTULO III.- ANALISIS DEL DOCUMENTO (INFORME) QUE DESARROLLA EL PROYECTO EJECUTIVO DE LA TERCERA ETAPA ..... ¡Error! Marcador no definido.**

**III.1.- PARTE GENERAL.....¡Error! Marcador no definido.**

**III.2.- ANALISIS PARTICULARIZADO DE LAS MEDICIONES “IN SITU”. (Documento “Mediciones y Anexo C”).....¡Error! Marcador no definido.**

**IV ANALISIS DE LA DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA Y RESTANTE... ¡Error! Marcador no definido.**

**IV.1.- DOCUMENTACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA. ....¡Error! Marcador no definido.**

**IV.2.- DOCUMENTACIÓN DE LA SEGUNDA ETAPA .....¡Error! Marcador no definido.**

**IV.3.- DOCUMENTACIÓN INCLUIDA EN LA TERCERA ETAPA..... ¡Error! Marcador no definido.**

**IV.4.- ANALISIS COMPLEMENTARIO DE LA ETAPA FINAL..... ¡Error! Marcador no definido.**

**CAPITULO V.- ESTUDIOS TRAS EL IVAN.....¡Error! Marcador no definido.**

**V.1 ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE COSTA.....¡Error! Marcador no definido.**

**V.1.1 OBSERVACIONES SOBRE LA TABLA 1,.....¡Error! Marcador no definido.**

**V.1.2 ANALISIS DE LA LÍNEA DE COSTA EN TORNO A LAS 12 SECCIONES DE REFERENCIA. ....¡Error! Marcador no definido.**

**- CONCLUSION. Este análisis es consistente en ambos epígrafes y pone en evidencia:.....¡Error! Marcador no definido.**

**VI.- APENDICE JUSTIFICATIVO Y METODOLÓGICO... ¡Error! Marcador no definido.**

**VI.- APENDICE JUSTIFICATIVO Y METODOLÓGICO... ¡Error! Marcador no definido.**

**CAPITULO VII.- RESUMEN Y CONCLUSIONES..... ¡Error! Marcador no definido.**



## **DICTAMEN SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLAYA DE NIZUC-CANCUN Y SOBRE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS AL RESPECTO.**

**J. Javier Diez.**

### **INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS, ANTECEDENTES Y METODO DE TRABAJO**

#### **A) OBJETIVOS**

De lo que inicialmente se planteó como un Dictamen de Validación de un Informe Final sobre el Proyecto para la recuperación de la playa del cordón litoral entre las puntas de Cancún y Nizuc, pasó a plantearse, además de lo anterior, la validación de los estudios e informes que lo han sustentado y que se reseñan y detallan en los epígrafes correspondientes de esta introducción.

De modo que se pueden establecer como objetivos adicionales al de validación del Informe citado los de:

- Pronunciamiento sobre el estado de la playa y de las alternativas de actuación.
- Validación de los diferentes estudios previos.
- Propuesta de actuaciones y bases para sus especificaciones y para la MIA, en su caso.

#### **B) RESUMEN DEL PROCESO**

En Febrero de 2004 fue solicitada por representantes del Ayuntamiento de Puerto Juárez opinión razonada sobre los problemas de las playas entre Punta Nizuc y Punta Cancún. El autor de este Dictamen había realizado visita para observar los efectos del huracán Gilberto en Octubre de 1989. Durante la consulta le fue entregada una carpeta con el Título “Presentación y Mantenimiento de la Zona Federal Marítimo Terrestre entre Punta Cancún y Punta Nizuc: Informe Final y Anexo Técnico” de Diciembre de 2003, sobre la que se le solicitó DICTAMEN.

Posteriormente, y a requerimiento del autor como aclaración a algunos contenidos de la carpeta referida, le fue enviada documentación complementaria a través del Ingeniero Gómez Orea consistente en un Informe basado en cuatro estudios de FONATUR, que se incluían, y en otros más recientes que no se incluían. El informe resultó ser de la CFE, como también los Documentos base del mismo y de fecha año 2000/2001.

El análisis de todos estos Documentos, que constituyen la DOCUMENTACIÓN PRIMERA, realizado con las limitaciones derivadas de carecer de toda la información complementaria de base se redactó en un Informe Previo que se adjunta, modificado después, como Capítulo II, y fuera impuesto por la urgencia de disponer de él y de valorar las posibles carencias. En él se explicitaban algunas lagunas informativas necesarias para un Dictamen más preciso, y que parecían susceptibles de obviarse en otra documentación disponible.

A nuevo requerimiento del autor se le envió desde la CFE un CD con el título “Estudios, Modelos y Proyecto Ejecutivo para la Rehabilitación Integral de las playas en el tramo entre Punta Cancún y

Punta Nizuc, Tercera Etapa” y conteniendo un Informe del Proyecto Ejecutivo de la tercera etapa y otros Documentos adjuntos, todos los cuales fueron objeto de otro análisis que también adolecía de la información completa pero que se requería para la presentación de la MIA. El análisis del proyecto ejecutivo de esa tercera etapa se desarrolla a su vez aquí como Capítulo III.

Durante la estancia en Cancún y México DF se completó la Documentación que no se había recibido en varios CD:

A) En el CD con Estudio, Modelos de simulación y Proyecto Ejecutivo para la rehabilitación integral...(Primera y Segunda Etapas, Mayo 2001), se incluye:

1ª ETAPA: a) Documentos: Diagnóstico y Estudios Oceanográficos, que resultaron ser los Documentos analizados nº 3 y 4 en la primera parte de este Análisis (ver II.III.IV y II.III.V)

b) la figuras 3.6.1 y 3.6.2 del mismo.

c) Informe de Recopilación que es el Documento nº1 analizado ya con los anteriores, y que es el Estudio teórico considerado como Documento nº 1 de base del Informe de los estudiados en el Capítulo II, y que recoge la información de los trabajos de la UNAM de 1989-1991 (ver II.III.I). Se acompañan unas tablas que han permitido completar y perfeccionar el Capítulo II de este DICTAMEN.

d) Informes de geotecnia y Topohidrografía que no se habían recibido antes.

e) Planos del Documento de Diagnóstico, y además de

e.1.- Geotécnia.- que más bien son de geomorfología y geofísica

e.2.- Topohidrográficos, que son topográficos y batimétricos.

e.3.- de Recopilación.- Carta náutica, línea de costa y Batimetría, y Registro de Oleaje en planta.

2º ETAPA: a) El Informe final de la 2º Etapa con sus

b) figuras (faltan la 1.1.4 y la 1.1.6)

c) Planos numerados 01 a 11.a

B) En el CD de la Tercera Etapa, coincidente con el ya mencionado de la CFE, se ve una fotografía aérea con la evidencia del paso de sedimentos por delante de Punta Cancún hacia la bahía de Isla Mujeres y una carpeta de Cancún que contiene la Documentación recibida en el CD en Julio y enviada por D. Carlos Sánchez de la CFE. Los textos se habían analizado ya (Capítulo III): el Resumen Ejecutivo, la Carpeta del Informe y los comentarios finales (correctos y válidos todos para el Proyecto ejecutivo aunque éste no contempla por el momento obra de apoyo alguna)

En ese CD de la Tercera Etapa se puede prescindir de las carpetas “Figuras e Imágenes” y Oleaje Medido (que sólo recoge datos numéricos de registro). Los planos de las carpetas “geofísica” y “oceanografía” se analizan en el Capítulo IV junto con algunos Anexos (A y B) (no se hizo antes por la urgencia de llevar a México un borrador suficiente).

C) En el CD del Informe Final, Diciembre 2003, recogido también en la visita a la CFE en México DF, además del Informe y del Anexo Técnico ya analizados con anterioridad (ver Capítulo II) se dispone de dos bloques de Planos correspondientes a dichos Documentos. Se encuentra la Documentación de la versión final del proyecto ejecutivo, y la documentación de la carpeta en papel entregada por el Ayuntamiento en su visita de Febrero. Además contiene otras carpetas, que completa la carpeta recibida inicialmente. En la carpeta de Planos Anexo Técnico, y en la carpeta geofísica, se encuentra

- Un Documento PDF explicativo de la aplicación geofísica que parece correcto.
- 8 planos con la situación de los puntos en que se realizó la determinación geofísica en las 6 zonas en que se dividió el frente playero de Cancún (planos 1-6), y que consideró exhaustivas; y de los espesores en las zonas 1 (plano 7) y 2 (plano 8) (más al norte), en los que se aprecia lo limitado de la potencia de sedimentos y el afloramiento generalizado del substrato rocoso (seguramente arrecifal)
- los planos 9 y 10 (srf), imposibles de abrir.

En un Capítulo IV se realiza el Análisis de la Documentación correspondiente a las etapas primera y segunda y que no había sido recibido antes y de la Complementaria de la tercera Etapa y del Documento final que se analizó con posterioridad por la urgencia del análisis anterior.

Finalmente se obtuvieron datos a raíz de la estancia mencionada y en base a ellos se realiza el análisis del Capítulo V. Estos datos recogen variaciones en la línea de costa, pero deben ser completados, porque se dispone en Máximo de documentación suficiente para ello.

El Capítulo VI justifica la metodología (Anexo) que permite validar unos datos con otros en los estudios de costas.

### C) DOCUMENTACIÓN RECIBIDA PARA ANALISIS

En consecuencia, y reordenada por orden cronológico, la Documentación recibida para el Análisis es:

1) En el CD. Estudios y Modelos de Simulación y Proyecto Ejecutivo para la rehabilitación... (Primera y Segunda Etapa) de mayo de 2001.

- Carpeta Primera Etapa:

- Carpeta Documentos:

- Carpeta Diagnóstico: - Texto con Diagnóstico (Doc 3 para Fonatur)
- Carpeta con Figuras Diagnóstico (dos)
- Carpeta con texto Estudios Oceanográficos (Documento 4 para Fonatur)
- Carpeta con texto de geotecnia
- Carpeta con Informe Topohidrográfica.
- Carpeta de Recopilación: - Informe (Documento 1 para Fonatur)

- Anexo Tablas

- Carpeta Planos:

- Carpeta planos diagnóstico. 3 planos
- Carpeta planos geotécnia: 5 planos
- Carpeta planos topográficos: 10 planos
- Carpeta planos de Recopilación: 5 planos y Carta náutica

- Carpeta Segunda Etapa:

- Carpeta Documentos:

- Texto Informe Final 2
- Carpeta figuras informe: 2 Figuras y un listado de 11
- Carpeta planos: nueve planos, una imagen y la carta náutica.

2) En el CD. Del mismo título y correspondiente a la Tercera Etapa aparece unos textos sin clasificar con el resumen Ejecutivo y Comentarios finales y los siguientes Carpetas y contenidos

- Carpetas con Figuras e Imágenes prácticamente desechables pero se comentan
- Carpeta Informe: con textos de Proyecto Ejecutivo y Comentarios Adicionales que ya habían sido analizados, lo mismo que
  - Anexo D.- exposición teórica del Modelo GENESIS
  - Anexos A y B con información geofísica gráfica
  - Anexos B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> con información granulométrica sólo de playas y no completa.
  - Mediciones y Anexo C con datos sobre registros y el texto correspondiente.

- Carpeta “Oleaje medido con los datos en EXCEL de los registros de Oleaje entre puntas frente a las playas.
  - Carpeta planos Geofísica:
    - Carpeta Banco I, con cuatro planos
    - Carpeta Banco II, con cinco planos
  - Carpeta planos Oceanografía con 22 planos
- 3) En el Título “Preservación y Mantenimiento de la zona Federal Marítimo Terrestre entre Cancún y Punta Nizuc”, “Informe Final y Anexo técnico”, se contiene la misma documentación que en la Carpeta entregada en Febrero con los textos del Informe Final y de su Anexo Técnico, ya analizados y además,
- Carpeta planos de Informe: Con los planos de las rutas de transporte entre Bancos y Playas, y el conjunto de figuras con la Batimetría, Perfiles, Anchos y Volúmenes de las playas. (figs. 3.2, 3.4 y 5.1 a 3)
  - Carpeta planos Anexo Técnico, con 8 planos de geofísica, dos de muestras y dos de batimetrías de dos de los bancos.

## **D) REALIZACIÓN DEL TRABAJO**

El dictamen solicitado se refería inicialmente a la validez del proyecto propuesto para la regeneración de la playa de Cancún y su mantenimiento, pero, como se ha visto, el análisis del Documento Final condujo al requerimiento de documentos e informes previos que había soportado elementos y datos posteriores en un proceso de indagación, ascendente en el tiempo, de los estudios e investigaciones realizados, no ya solo por la CFE, sino por otras instituciones que se habían planteado el problema ambiental de la zona previamente.

Al final, la elaboración del Dictamen ha requerido del análisis de toda, o casi toda, la documentación existente al respecto, y en forma dialéctica para enjuiciar la validez de los distintos documentos, de sus hipótesis, trabajos y conclusiones. Este proceso requiere un método de trabajo a la vez dialéctico y progresivo que, en este caso, se inició con el análisis del Documento Final y de los que habían compuesto la primera etapa de los trabajos de la CFE, los auténticamente básicos, y no concluyó hasta volver a revisar los documentos complementarios de la fase final, tras el análisis de todos los documentos de la segunda y de la tercera etapas.

La fortuna permitió disponer de nuevos datos obtenidos en este último año y se consideró pertinente incluir su análisis para aumentar la fiabilidad del propio Dictamen.

En consecuencia, la abundancia de información y estudios y la relación entre todos ellos, junto con la urgencia, impusieron un método de trabajo típico, con lo que supone de normal de todo proceso analítico, pero infrecuente en la forma de su elaboración, puesto que al irse requiriendo en el proceso documentación más genuina y primitiva, ha ido quedando plasmado en una ordenación por Capítulos, desde el II al IV, de adelante a atrás en el tiempo. Estos tres capítulos son esencialmente análisis de la documentación, lo mismo que el V los es de los últimos datos de observación. El Capítulo I resulta ser así, sin ataduras sin función analítica, el de síntesis de todo ello, con los resultados y conclusiones requeridos.

Por ello, finalmente, el Capítulo I, a continuación, constituye el auténtico DICTAMEN en sentido estricto. Recoge y sintetiza todos los elementos significativos que resuelven el análisis realizado en los capítulos siguientes y da respuesta a todas las cuestiones planteadas. Los cuatro capítulos siguientes son de naturaleza estrictamente analítica y se resuelven en la discusión de los documentos analizados (en los primeros capítulos II al IV) y en los de los nuevos datos obtenidos sobre el terreno con posterioridad al 2003 (Capítulo V). En el capítulo II se analiza y discute el informe final y su anejo técnico de los trabajos de la CFE de Diciembre de 2003, y también Informes de Recapitulación, Diagnóstico e Investigación Oceanográficos que constituyen parte fundamental de la primera etapa de los trabajos de la CFE. En el capítulo III se analiza y discute el proyecto ejecutivo de la tercera etapa, una solución previa a la final y que incluirá otras complementarias, dirigidas a la de alimentación de arenas. El Capítulo IV recoge el análisis y discusión de toda la restante documentación, especialmente de tablas y gráficos, que corresponde a las tres etapas previas y a la final que no se revisó para la redacción de los dos capítulos anteriores.

La aportación de capítulo V es completamente nueva y analiza los datos de observación nuevos, pero teniendo en cuenta los datos referidos en los documentos analizados. Y el capítulos VI es un nuevo documento justificativo y metodológico: a lo largo de los capítulos II al IV se incide varias veces en el Dictamen en las amplias posibilidades que la información disponible ofrece para completar el diagnóstico del problema y el comportamiento morfodinámico de la costa en el entorno de Cancún, lo que se puede establecer en razón de la coherencia que deben mostrar todos los datos de observación, tal y como se discute y desarrolla en dicho capítulo, de naturaleza teórica, por tanto.

## CAPITULO I.- DICTAMEN SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PLAYA DE NIZUC-CANCUN Y DE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS AL RESPECTO.

### I.1.- INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Se incluye en este Capítulo primero el Dictamen técnico sobre la “recuperación de la playa del cordón litoral entre las puntas de Cancún y Nizuc” en sentido estricto, de modo que es en los capítulos sucesivos en los que se desarrolla con todo pormenor el análisis de toda la información previa existente, incluida la obtenida con posterioridad a los estudios y anteproyectos de la CFE, incluso tras el temporal del huracán Iván, y la derivada de la observación directa del autor en sendas visitas tras las ocurrencias de los huracanes Gilberto e Iván. Dicho análisis no se restringe a la discusión y validación, en su caso, de los resultados de las investigaciones y estudios realizados sino que contrasta y reinterpreta todo ello de acuerdo con la doctrina metodológica que se desarrolla en el último Capítulo y su Anexo metodológico y que, en esencia, se basa en el axioma de que los diferentes tipo de datos de la observación de la naturaleza deben de estar en concordancia entre sí y con el modelo de comportamiento que se determina para los procesos litorales en cada tramo de costa, y de modo que el diagnóstico de sus problemas y la solución propuesta para los mismos estén también en concordancia con todos ellos.

No cabe duda, a la vista del conjunto de Estudios e Informes que se han analizado y que se explicitan en el ANALISIS que sigue a este Informe, de que la regeneración de las playas entre las Puntas de Nizuc y de Cancún es necesaria y urgente, más allá de su oportunidad y conveniencia, tanto para el mantenimiento de la infraestructura turística, ya existente, lo cual resulta obvio de percibir, como para la preservación del ecosistema actual, toda vez que existe riesgo de ruptura de la barrera arenosa litoral en varios puntos, aunque no se perciba inminencia en ella, porque la erosión profunda en la misma está permitiendo el afloramiento de formaciones arrecifales y su posterior erosión, tal y como se justifica suficientemente en los distintos capítulos de este Dictamen.



**Afloramiento de formaciones rocosas en playas**

Dictamen que se realiza en base al análisis de dos INFORMES finales sucesivos de la CFE tras la tercera etapa de estudios, y de una serie de Documentos antecedentes y complementarios, o que han respondido a estudios e investigaciones anteriores, pero también a trabajos posteriores y a observaciones de su autor tal como se expone en el párrafo anterior.

Estos Informes y Documentos, generados entre 1989, apenas ocurrida la catástrofe del Gilbert, y 2004, han tenido diferentes naturaleza y alcance, desde los estudios realizados por la UNAM a consecuencia de las erosiones causadas por el Gilberto hasta sucesivas propuestas de proyecto ejecutivo más o menos desarrolladas que se citan y, dentro de éstas, diversos estudios teóricos, metodológicos, de investigación geofísica, de mantenimiento y económico financieros. Y todos ellos han sido analizados en este Dictamen, tal y como se explica en los sucesivos Capítulos que siguen.

Antes de entrar en las consecuencias de dichos Análisis y enjuiciamientos críticos aparece enseguida evidente, tanto para el lector de los documentos como para el mero especialista observador de la playa, como es el caso de este autor en viaje -Octubre de 1989- “ex profeso” para valorar la situación poco después del Gilbert, que la playa iba a requerir y requiere ya desde entonces de alimentación artificial porque a) la erosión causada por el huracán sólo había sobreagudizado un problema que ya se venía arrastrando desde lejos en el tiempo, b) probablemente había rebasado ya entonces el nivel de recuperabilidad, c) al problema económico que se podría generar por la negativa afección al turismo de la situación y evolución previsible de la playa se sobrepondría el ambiental, plural, que se causaría en caso contrario sobre la laguna litoral de Nichupté y sobre los arrecifes submarinos a causa del progreso de la erosión en las zonas aún no construidas y de defensa costera postergada por ello. La regeneración de esta playa puede considerarse por tanto como una actuación de carácter ambiental en sí misma, aparte su carácter territorial y económico-social.

## **I.2.- CONCLUSIONES SOBRE LAS OBSERVACIONES Y LA DOCUMENTACIÓN ANALIZADA. (CAP. II. V)**

Todas las discusiones que siguen cuestionan o reafirman las muchas actuaciones realizadas hasta ahora con vistas a resolver el grave problema planteado, de agudización creciente sin duda, en la larga playa entre Cancún y Nizuc. Con independencia de que las cosas siempre son perfectibles es evidente que los esfuerzos han sido ingentes y que se ha debatido el problema técnico y científico en profundidad, y que todos los documentos consultados tienen valor en sí mismos aunque, bien por su enfoque parcial u objetivos incompletos, bien por el tiempo transcurrido desde su realización, bien por la ausencia de una determinación clara sobre el tipo de decisión a tomar, puedan resultar ahora incompletos. Los fallos que pudieran encontrarse, tanto en los estudios como en los proyectos propuestos o ejecutados, no se deben tanto a defectos en la investigación como a problemas metodológicos, propios, a veces, de las circunstancias o del propio tiempo de realización de los estudios y proyectos.

En particular y a título de ejemplo, el fallo constatado de algunas de las actuaciones de defensa y protección de tramos parciales de playa realizados localmente por iniciativa de los hoteleros, se debió sobre todo a la parcialidad y localidad de tales actuaciones (más que al tipo de solución aportada: esta gran playa está “condenada” a protegerse/defenderse/recuperarse como un todo en un tratamiento conjunto), aunque algunas otras se debieron probablemente a un mal emplazamiento de los elementos de protección; los geotextiles no fallan por sí mismos sino, generalmente, por empleo y emplazamiento inadecuados.

### **I.2.1.- SOBRE EL PROYECTO EJECUTIVO, SUS ALTERNATIVAS, FUNCIONALIDAD E IMPACTO.**

Los proyectos que sucesivamente se han planteado desde 1991 para el conjunto de la playa se basan en la regeneración o relleno de la playa mediante la aportación de arenas de fondos marinos próximos pero ajenos al sistema litoral “actual” de la misma, esto es, cuyas arenas son ya irrecuperables en forma natural para esas y otras playas, aunque de hecho (está no obstante sin demostrar completamente pero puede darse por suficientemente comprobado en este Dictamen) en gran medida, si no completamente, procede de tales playas y de los arrecifes vinculados a ellas. Sólo el proyecto ejecutivo de la tercera etapa de estudios de la CFE incorpora además unos apoyos en los extremos del tramo, combinados con los naturales de las dos Puntas, Nizuc y Cancún, y un elemento rigidizador, longitudinal a lo largo del borde de la plataforma de la playa seca, que difiere o impide la pérdida de arenas por la acción de los oleajes extraordinarios debidos a huracanes. (102)



**Ubicación de obras de cierre en proyectos anteriores, en Punta Cancún y Punta Nizuc**

Los otros dos se basan en una mera regeneración con arenas de bancos próximos situados al norte de la playa a recuperar.

Sin embargo se mantiene la posible discusión sobre si la mera alimentación es suficiente o si, previendo las invisibles pérdidas que la sucederán al no haber cambiado las circunstancias hidrodinámicas (las erosiones eran ya anteriores al Gilberto (103)) se hacen necesarias obras de apoyo y protección que atenúen los gastos del mantenimiento mediante alimentaciones posteriores a la de regeneración. Punto éste que se enuncia mejor más adelante al tomar en consideración las bases para la Manifestación de Impacto ambiental, y que a lo largo de este Capítulo y de todo el Dictamen queda suficientemente aclarado en la determinación adoptada de recurrir a una mera alimentación artificial con arenas marinas de fondos suficientemente profundos.

Desde el punto de vista del proyecto el problema crítico de toda regeneración suele ser económico-financiero, en razón de la estabilidad y mantenimiento requerido por la regeneración ejecutada, pero también ecológico en razón de la mayor o menor repercusión de la reiteración del dragado en la misma zona.

Como en todo proyecto de regeneración con arenas naturales marinas, existen dos zonas donde se siente su impacto ambiental: la de extracción y la de relleno; y dicho impacto se produce como consecuencia respectivamente de las acciones de dragado y vertido, y también de los cambios topológicos, e infraestructurales en aquellas zonas en las que se recurriera a obras complementarias.

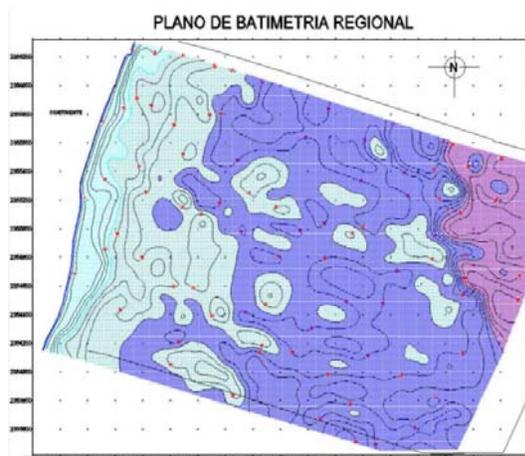
Sin embargo la alternativa de no regeneración tiene su correspondiente valoración, tanto en la evaluación de impactos como para la evaluación económico-financiera, de modo que en este caso la no regeneración siempre será menos deseable desde todo punto de vista porque los daños económicos y ecológicos serán mayores. Por otra parte la regeneración puede conseguir, como se ha dicho, una mejora de la situación ambiental respecto de la situación actual.

Los vertidos del relleno, afectando poco más que al perfil de playa en torno y tras las rompientes, sólo tienen impacto diferencial durante la ejecución por la turbidez generada ya que los materiales son los mismos y los fondos afectados han sido previamente erosionados, cuando se ha producido el auténtico daño ambiental; esa turbidez ya se da en forma natural en esa zona y no puede por tanto considerarse significativa ni en el vertido de ejecución del proyecto ni en los sucesivos vertidos de mantenimiento(104).

La extracción de las arenas de dragado pueden afectar a los fondos y a los posibles caladeros de los mismos, pero también a las propias formas costeras si interfieren con el transporte litoral. Los fondos arenosos móviles, libres por tanto de praderas sumergidas suelen considerarse desiertos submarinos porque las tasas de biomasa son reducidas. Pero lo cierto es que con frecuencia no lo son sus flujos, y los “arañazos” causados por la operación del dragado afectan a los mismos a través de las perturbaciones reológicas y desestructurantes de su sistema granular. Un dragado para el

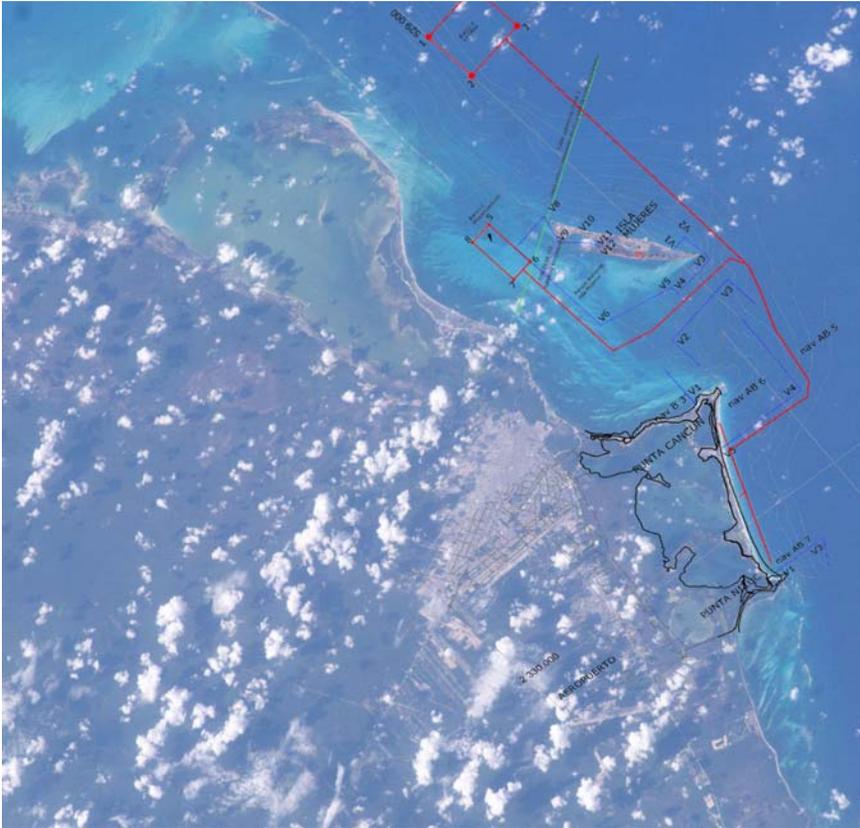
proyecto ejecutivo de relleno, respetando parte de los espesores del sedimento, es recuperable en pocos años. Mayores problemas pueden generarse a largo plazo si se recurre a dragados frecuentes en los mismos fondos, debido a una a modo de “fatiga” de su “tejido” granular.

No cabe duda sin embargo que dragados separados en el tiempo suficientemente (del orden de la década más o menos) son perfectamente recuperables por lo que, de requerirse operaciones de dragado para mantenimiento de rellenos con mayores



frecuencias bastaría con recurrir a bancos de arena distintos.

El impacto morfológico se obvia con el dragado a profundidades suficientes, cuando los sedimentos pueden considerarse perdidos ya para el transporte litoral y no susceptible por tanto de ser recuperado para el perfil de playa activo, como ocurre con todas las zonas analizadas en los distintos estudios e informes para seleccionar los bancos de aportación.



En contrapartida debe tenerse en cuenta que los procesos erosivos ya ocurridos, los debidos al huracán Gilberto y los de carácter habitual, han permitido aflorar y sufrir erosión a los arrecifes litorales que garantizaban el equilibrio sedimentario y el “apoyo” de los perfiles transversales.

Adicionalmente, los bancos de arena que permiten hoy las extracciones de dragado para los rellenos tienen su origen y acrecimiento actuales en los propios sedimentos erosionados de la playa y, durante su emigración forzada

hacia mayores profundidades, están ya produciendo impactos por invasión de los fondos

**Fotografía satelital del área de Cancún, indicando las rutas de navegación y la ubicación de los bancos de arenas “Megarrizaduras” y “la Ollita”**

preexistentes, por lo que los dragados restaurarían en cierto

modo una situación anterior que se ha empezado a perturbar desde, probablemente, que la excesiva ocupación del cordón NIZUC-CANCUN-, especialmente en las zonas dunares y más próximas a la línea de playa, ha desencadenado un proceso creciente de erosión de éste (como se dijo, ya antes de la ocurrencia del Gilberto). (108)

Las obras de apoyo y protección favorecen la permanencia de los sedimentos y reducen los dragados y rellenos de mantenimiento con efectos económicos y ecológicos positivos en éste, pero introducen un costo adicional y ciertos impactos ambientales locales: los de los apoyos, en unas puntas rocosas, como es el caso, son despreciables empleando roca calcárea de la zona y de efecto visual también soslayable con diseño adecuado como el que se propone; los de la protección, tanto la enterrada en la plataforma de playa como si constituyera un apoyo de pie de perfil, se reducen a

los del geotextil empleado en una zona sin biocenosis significativa y en un biotopo al que en todo caso estabiliza y mejora desde el punto de vista de aquella.

Curiosamente las acciones de defensa realmente ejecutadas en los primeros años noventa se basaron sobre todo en espigones-geotextiles fundamentalmente y se aplicaron local y puntualmente, lo que favoreció como se ha dicho su comportamiento deficiente, y su final y pronto desmantelamiento por los oleajes. Debería haber sido evidente que ningún proyecto puede aspirar al éxito si no se extiende a la totalidad del tramo como una unidad fisiográfico/morfodinámica que es.

Respecto del juicio sobre los proyectos ejecutivos concretos que se han propuesto, todas las razones aconsejan incorporar algunos elementos de apoyo y protección, por lo que el de la tercera etapa parecería en principio el más adecuado. Su volumen de alimentación es sin embargo menor que en el último por causa de batimetría empleada o de precisión en la determinación (más adelante se trata más ampliamente) pero, por las razones que se exponen en este Dictamen, estos volúmenes parecen inferiores en todos los casos a los necesarios para conseguir un perfil de estabilidad con las plataformas de playa seca mínimas deseadas en cada caso. Eso quiere decir que previsiblemente se sufrirán pérdidas y retrocesos de la playa muy pronto tras la regeneración para buscar el perfil de equilibrio, sin lograrlo, o lográndolo a costa de una anchura de playa seca susceptible de ser considerada insuficiente.

La presencia de algún elemento rigidizador como el “Protectube” del proyecto de la tercera etapa, o de algún otro de contención de pie de perfil que reduzca el volumen requerido para el equilibrio pueden impedir o dificultar este retroceso, demorándolo mientras el mismo tubo resista el embate de los oleajes o el reborde sumergido impide las pérdidas. El aspecto negativo del elemento rigidizador es que terminará por desplazarse y deteriorarse si se retrasan las operaciones de mantenimiento; el positivo es que da opción a que mediante éstas se pueda irse acercando progresivamente al perfil de estabilidad. (que seguirá requiriendo mantenimientos aunque menores; y ello sin perder la funcionalidad de la anchura de plataforma establecida en la construcción).

La ventaja de que la protección longitudinal se ejecutase sumergida, exenta respecto de la línea de costa/playa, es que permite alcanzar ese perfil de estabilidad con menores volúmenes de arenas de los que requiere el proyecto expuesto, pero su inconveniente deriva de cierta línea de pensamiento técnico (originada en R. Dalrymple) que atribuye a estas estructuras de apoyo de pie de perfil un comportamiento más perjudicial que positivo en el mantenimiento del perfil de proyecto y de estabilidad. Nuestra experiencia es que de suceder de ese modo, se debería a un deficiente diseño en el punto del perfil de ubicación de dicho apoyo-protección longitudinal y en la altura y demás dimensiones del mismo. Detalles adicionales sobre este asunto se desarrollan más en el resto del Dictamen.

En los propios inconvenientes de la mera regeneración se encierran también por tanto sus mayores ventajas. En cualquier caso ya se ha expuesto que la razón fundamental para informar favorablemente esa solución es la certeza técnica de que la peor solución es continuar con la discusión y de que la evolución de la playa tras la regeneración va a indicar si las propias consideraciones medioambientales van a poner o no sobre la mesa de nuevo la discusión para, entonces en forma inequívocamente “demostrada”, analizar si se requieren o no obras complementarias de apoyo, abrigo o contención.

Hasta aquí una sumaria discusión sobre las dos alternativas ya desarrolladas en los estudios de la CFE y que se centra en la necesidad o conveniencia de obras rígidas complementarias de la alimentación. Discusión requerida por el análisis completo de la documentación previa. Pero las circunstancias administrativas han quitado virtualidad a la misma por cuanto “a priori” se considera inconveniente ambientalmente inasumible la construcción de obras de apoyo en las Puntas (y sin ellas no tiene sentido hablar de las de abrigo a lo largo de la playa). No es que el autor del Dictamen no tenga confianza en poder demostrar que tales obras, sobre no introducir los impactos ambientales que se presuponen, pudieran inducir otros efectos positivos deseables, sino que está convencido de que entretenerse y entretener a las administraciones pública y a los interesados en esta demostración sería la más perjudicial de las actitudes; de modo que se asume (por el momento y, si es preciso, para siempre) que no procede implantar obra rígida alguna con vistas a facilitar una pronta decisión sobre la alimentación rápida y suficiente de la playa.

En lo que sigue se adopta pues el criterio de que el proyecto objeto de validación es el del último documento de la CFE, esto es, la mera alimentación, que aquí se valida tal cual está propuesto pero revisando los volúmenes de alimentación tras el Iván, aunque pueda seguirse en el plano teórico la discusión sobre si proceden o no obras complementarias. Y sin embargo, no se deja de contemplar la hipótesis de que por los organismos competentes puede cambiarse de criterio más adelante, con el proyecto de alimentación ya ejecutado o en ejecución, si con los trabajos de monitoreo se mostrase la necesidad o conveniencia de tales obras.



**Proyecto Final: vertido de arenas para la Restitución de Playas Nizuc-Cancun, sin obras de cierre adicionales.**

### **1.2.2.- SOBRE LOS ESTUDIOS REALIZADOS Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO EJECUTIVO.**

Otra cuestión final entonces es la validez de los estudios realizados y sus datos para la determinación y ejecución del proyecto constructivo, así como sobre las condiciones y recomendaciones para éste y para el mantenimiento posterior de esta infraestructura playera que, a la vez, resulta ser la recuperación de un entorno natural.

En razón del análisis que sigue en el resto de este Dictamen se vuelve a repetir que el conjunto de los estudios es importante y de validez indudable, con las matizaciones que se van indicando en los sucesivos capítulos. Aunque quedan lejanos en el tiempo y algunos de sus métodos pueden ser considerados hoy obsoletos, tienen calidad los estudios iniciales de la UNAM y, en cierto modo, conservan toda su validez. En el análisis que aquí se desarrolla se hace hincapié sobre todo en sus insuficiencias o contradicciones, incluso en sus lapsus de reflexión, pero la extemporaneidad de este análisis no permite invalidarlos, sino todo lo contrario. Las aportaciones al estudio del clima son buenas, aunque deban hoy completarse, y de hecho están suficientemente completadas en otros documentos posteriores; y los cartográficos y sedimentológicos eran ya suficientes para el proyecto (el hecho de que se hayan completado en otras áreas distintas de las inicialmente preferidas para la extracción no les quita valor, se lo aumenta al corregir algunos defectos de la cuantía de la regeneración que se habían observado en ellos).

Las dos Documentaciones “finales” correspondientes a la “tercera etapa” y ala “última versión”, insisten sobre todo en la descripción de los proyectos ejecutivos. Ambos aportan informaciones nuevas y corrigen defectos subsanables, sobre todo en sus respectivos Anexos Técnicos. En el último, además, se desarrollan estudios económico-financieros y propuestas de seguimiento y mantenimiento del proyecto construido que aquí se asumen expresamente excepto en la que hace al uso de un modelo de evolución de la línea de costa de la tercera etapa, ya que su proyecto incluye una defensa longitudinal rigidizadora de dicha línea de playa que no contempla el modelo. Pero incluso así, el modelo permite presumir dónde se planteará la “erosión crítica de mantenimiento” y, en cierta medida, cuándo, con una estimación también asumible, lo que mantiene su utilidad “estimativa”. (111)

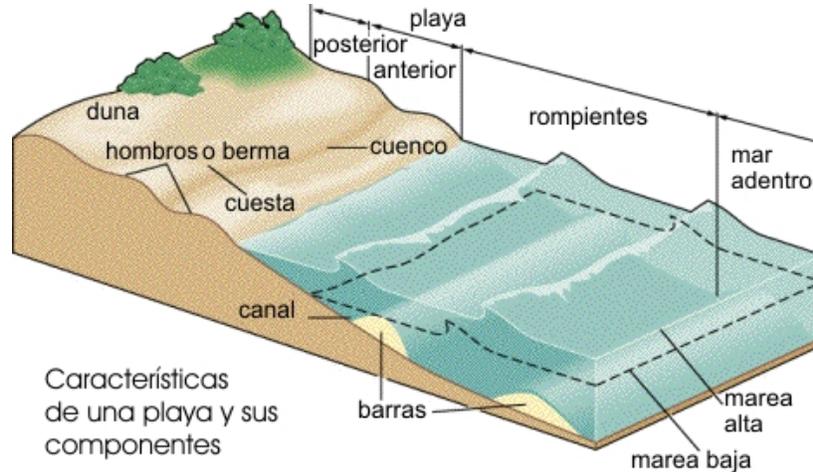
Con todo, existen puntos del estudio integral que pueden mejorarse o completarse como el recurrir a los Regímenes de Oleaje y Temporales (ver el siguiente párrafo), afectando más a los trabajos de gabinete y al análisis que a nuevas tomas de datos, pero cuya carencia no puede impedir la realización de un proyecto ejecutivo con la información disponible y con algunas matizaciones que afectan sólo al tipo de éxito esperado y a las previsiones de los costos del mantenimiento futuro. En todo caso pueden obtenerse fácilmente para el proyecto ejecutivo del banco de datos y con los medios informáticos de la CFE. Se podría mejorar también el conocimiento sobre la naturaleza y distribución de los arrecifes aflorados en la playa sumergida y en las zonas cuya batimetría ha sido investigada, por conocer su estado, composición mineralógica y formas de erosión, en su caso, pero no afectaría a las condiciones de diseño, sólo a mejorar el conocimiento del funcionamiento del sistema.

El empleo que se hace de los datos de oleaje no ha sido suficiente para determinar los Regímenes de Oleaje (distribución de estados del mar -H<sub>s</sub>- en el año medio) y Temporales (distribución extremal

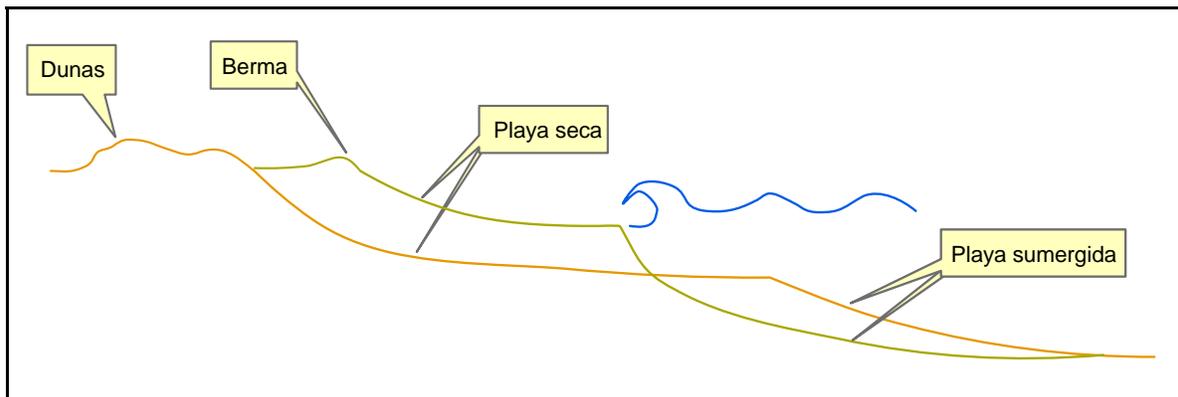
de estados del mar  $-H_s-$  ), entendidos estos como separados del “régimen ciclónico” (de huracanes). En dos de los Documentos se trabaja con un régimen extremal obtenido combinando el empleo de datos de huracanes con otros de oleajes en el Golfo de México que no considero acertado al combinar fenómenos de diferente naturaleza estadística. Sin embargo se refiere abundancia de datos de observación y previsión cuyos soportes están disponibles en los archivos de la CFE. A efectos de diseño final en caso de un nuevo proyecto ejecutivo creo que debieran obtenerse estos regímenes y, en el caso de oleajes de huracanes, emplear los máximos registrados en la zona, corregidos al alza en su caso si su máximo espacial no correspondió a estas playas de Cancún. Supondrá un trabajo adicional que no puede estimarse muy importante porque la CFE dispone de los bancos de datos suficientes para obtenerlos con inmediatez.

Oportuno sería realizar algunas propagaciones más, explicitándolas, (porque se considera que la CFE las ha realizado comprobatoriamente para la redacción de sus sucesivos informes), que permitan a terceros relacionar mejor los datos observados en profundidades indefinidas, reducidas y en las de rotura, y todas ellas con los de las corrientes litorales y con los transportes de sedimentos. Aunque no tiene sentido ahora, que no va a construirse ningún apoyo, la propagación realizada para el cálculo de las estructuras de apoyo es válida pero también debiera haberse realizado para oleajes huracanados. Aunque las erosiones en estas playas se iniciaron y desarrollaron durante mucho tiempo con independencia de los huracanes, el Gilberto introdujo una agudización de las mismas al rebasar cierto estado crítico. Es algo que convendría discernir a los efectos de una mejor situación para la redacción del proyecto definitivo, de su ejecución y del mantenimiento.

A efectos del proyecto de ejecución es relevante el cálculo de los volúmenes de relleno que, como se justifica en el análisis, se debe suponer que está por debajo de los necesarios en razón del tipo y manejo del perfil de equilibrio de la playa en estabilidad (de referencia). De ahí se derivan una erosión posterior a la ejecución más acelerada y unos gastos de mantenimiento superiores a los estimados; pero eso no afecta ni a la necesidad del proyecto ni a su viabilidad, aunque requiriere ajustar las previsiones económico-financieras. Y a propósito de éstas, conviene constatar los cálculos de erosión de los distintos estudios. Sobre este asunto, sin embargo, se vuelve en el epígrafe I.2.4, un poco más adelante.



**Componentes de playa en mares con marea**



**Perfil completo de playa estable para dos estados de mar de diferente energía y con nivel medio del mar estacionario**

Ligado a ese tema se encuentra el de la determinación del objetivo de anchura de playa. En el primer documento que lo aborda se produce una argumentación algo confusa o insuficientemente justificada que puede introducir dudas respecto a los volúmenes requeridos y las posibilidades de rentabilizar la anchura en cuestión. No pueden ser determinantes de nada. Las últimas cubicaciones, más realistas, muestran que las primeras estimaciones adolecían de cierto componente especulativo. A estas alturas conviene disponer de la batimetría tras el Iván. Y sería bueno disponer (ver pág. 47) de un estudio de la evolución de entre 7 y 12 perfiles transversales para conocer mejor el proceso y mejorar el diagnóstico, mejor que de los de las cuatro secciones (A, B, C y D) tipo de cuatro subtramos que se refieren. Este asunto se completa a continuación en los dos epígrafes siguientes.

Finalmente se considera que debiera meditar más sobre el *nivel de diseño bajo condiciones huracanadas*; el estudio de niveles no está hecho y, aunque la propia existencia previa de la playa determina el nivel de referencia principal, a los efectos de previsión de la evolución, pudiera convenir esta reflexión. Es precisamente este aspecto, el de la discusión reflexiva de todos los datos disponibles y de los que finalmente se decida determinar, en su caso, el que merece un mayor

esfuerzo si se dispone de tiempo para ello, pero excedía el alcance y tiempo para este Dictamen; podrían mejorarse con ello varios aspectos del diagnóstico, contrastar mejor la bondad o calidad del conjunto de los datos y tener una mejor previsión del comportamiento y condiciones de mantenimiento. Pero no son éstas razones que afecten a la validación del proyecto ejecutivo que se propone, que se da por positiva: la perfectibilidad de los trabajos no puede suponer nunca su reprobación y sí sólo una llamada a rehacer las estimaciones con unos regímenes de niveles, de oleajes y de temporales (el de huracanes es muy poco probable de conseguir) basados en excedencias y en su extremal.

### I.2.3.- LINEA DE COSTA EXISTENTE Y DE PROYECTO

Un análisis de detalle de la evolución de la línea de costa desde 1984 hasta hoy mismo, tras el Iván, posterior a los contenidos en los estudios de la CFE, se ofrece en el Capítulo V. Aunque se ve menos expresamente de lo que se vería en un análisis de la evolución de las secciones transversales y de sus perfiles, queda de manifiesto que el retroceso de la línea de costa es creciente desde 1984 (antes del Gilberto) y que los episodios agudos causados por los huracanes no llegan a ocultar que el retroceso se mantiene en condiciones “reinantes”.

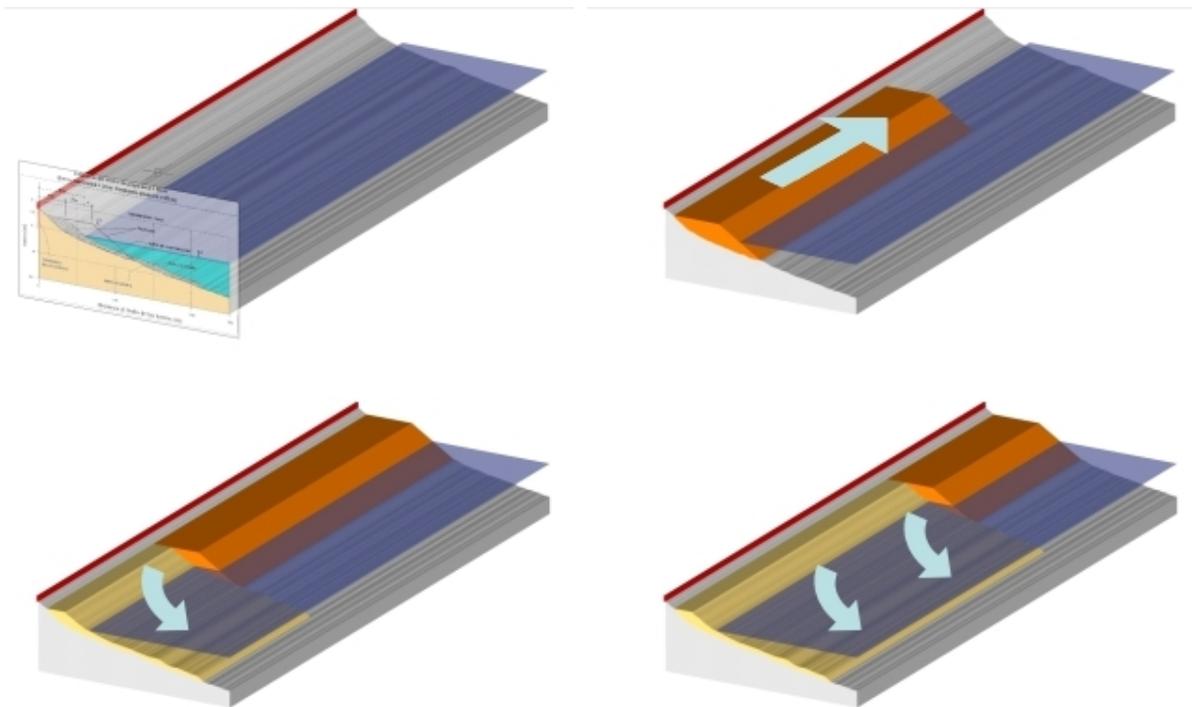


Monitoreo de la Línea de Costa y el retroceso que esta ha tenido en los últimos años

El tema de la traslación hacia el mar de la línea de costa, dato requerido para el proyecto y que depende de la demanda de playa seca, se ha tratado varias veces en los estudios de la CFE y del UNAM. En la primera y segunda etapas se ofrece una disquisición sobre la anchura de playa a adoptar –distancia entre la línea de hoteles y la de costa- basada en la distinción entre playa necesaria y playa existente no muy claramente fundamentada; es posible que se tratase de justificar un proyecto de coste moderado, en un trasvase de solo 700.000 m<sup>3</sup> de arena, y se basaba en una situación aún moderadamente erosionada y con un desarrollo turístico menor que el actual; ni la situación, ni las demandas de ocupación ni las disquisiciones se pueden considerar válidas para hoy. Pero en la tercera etapa de estudios de la CFE se rehizo el estudio de necesidades, basado en la situación inmediatamente antes del Gilberto y su comparación con la topobatimetría de 2001, por una parte, y con el estudio de la demanda a partir de las instalaciones y demandas hoteleras y turísticas por otra, hasta llegar a la demanda de un avance homogéneo de la línea de costa –respecto

de la del levantamiento de 2001- de 60m, de los que 35 m se pretenden permanentes y horizontales y los otros 25 según la pendiente del talud de la playa.

A partir de ese dato (de demanda) se aplica un modelo numérico basado en un perfil teórico - forma monoparabólica y profundidad de cierre determinados en función de los parámetros del oleaje y de los sedimentos- “natural” y en un perfil teórico constructivo (talud 10:1 desde el borde de la plataforma horizontal a la profundidad de cierres que permite determinar el avance de la plataforma de playa seca necesario en la construcción y los volúmenes de arena requeridos para ello. La metodología es correcta y los modelos de uso común y admitidos aunque son discutibles todos, tal y como se expone varias veces en los capítulos del Análisis, porque conduce a evaluaciones del volumen requerido de arenas inferiores a los reales. Es decir, los 3.000.000 m<sup>3</sup> del Proyecto propuesto en la última versión y los 2.300.000 m<sup>3</sup> del de la tercera fase (las diferencias proceden sobre todo sin duda de la precisión de las determinaciones) han de quedar escasos desde el origen para conseguir la línea de costa pretendida (sin contar la erosión neta desde 2001 a la actualidad, que se sabe que es importante como se demuestra en el Capítulo V). Otros estudios puestos de relieve en los capítulos que siguen conducen a volúmenes (para 2001) previsibles para la anchura requerida y perfil “estable de equilibrio” de entre 4 y 5 millones de m<sup>3</sup>, quizás mayores.



**El vertido de arena en las playas, y la sección de playa resultante**

Sin embargo esos volúmenes conducen a una línea de costa transitoriamente más avanzada de la “de estabilidad”, con taludes transitoriamente “inestables” por causa del proceso constructivo, lo que facilita la erosionabilidad de la playa y las pérdidas netas por delante y a través de la Punta Cancún, tal como se evidencia en el análisis y se percibe en las fotografías de satélite. De modo que

no es cuestión de una revisión importante de la línea de costa de diseño (y de los volúmenes requeridos en consecuencia) sino de prever una anchura final menor de la pretendida que deje para las operaciones de mantenimiento necesarias (las erosiones continuarían) el paulatino incremento de la anchura.

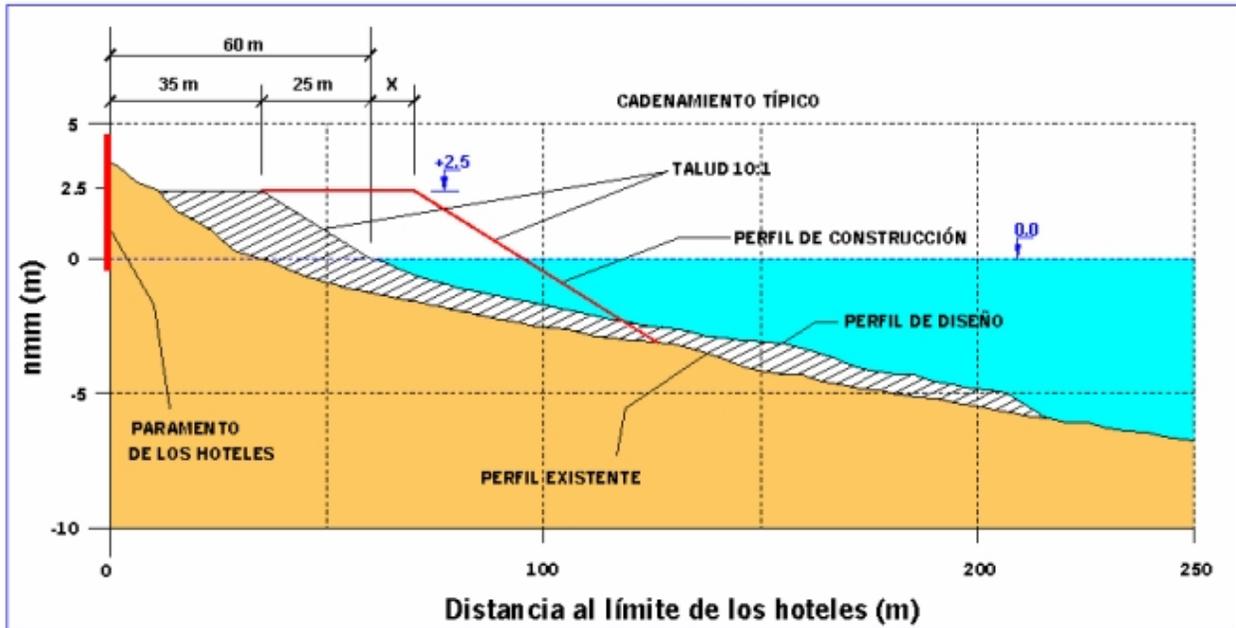
No tiene ello ningún inconveniente y sí ventajas añadidas. La primera es que las necesidades de monitoreo se manifiestan así mayores y más determinantes, lo que garantiza un mejor criterio en tiempo real sobre el grado de estabilidad de la playa regenerada (que lo estará en mejores condiciones que con una alimentación completa por encima de los 5.000.000 m<sup>3</sup>) y, por tanto, sobre las necesidades y repercusiones ambientales de las obras de apoyo /abrigo complementarias. La segunda es que, como se ha dicho, esta “media alimentación” induce menos erosión inicial que otra más completa y la tercera es la de poder adoptar medidas de mantenimiento que excedan las de la mera reposición de arenas, porque se podría demostrar que son de mayor calidad ambiental, esto es, favorecen una mejor recuperación del sistema con menores impactos indeseables.

#### **I. 2. 4.- RELLENO DE PROYECTO: PERFILES DE SECCIONES TIPO (A, B, C, D)**

Este tema está directamente vinculado al anterior, ya que la distancia entre líneas de costa (“actual” y de proyecto) fija la base del paralelogramo que, en cada sección transversal de la playa, determina la superficie o el diferencial de volúmenes correspondiente al diferencial de longitud de la playa entorno a dicha sección. Es la integral de esos volúmenes diferenciales la que determina el volumen de relleno y es en la definición del resto del paralelogramo de cada sección donde se emplean:

- Una profundidad de cierre -determinante de la altura del paralelogramo- que se calcula mediante cualquiera de las formulaciones derivadas del perfil de BRUNN - DEAN, HERLENMEYER, VELLINGA,...- en base a la parábola o curva cóncava del perfil teórico, a la granulometría de la arena y a la forma y la densidad de los granos, y a las características de los oleajes. En los capítulos que siguen se justifica que las profundidades de cierre usualmente empleados, y en concreto en los estudios y anteproyectos aquí analizados, son inferiores a la que acota la parte del perfil y fondos realmente móviles (CORNAGLIA), y la consecuencia derivada de que los paralelogramos así determinados son de superficie y volumen diferencial inferiores a los reales.
- Una forma del perfil de diseño que se obtiene por traslación paralela hacia el lado del mar del perfil “actual” en cada sección, suponiendo implícitamente que éste está en equilibrio o corresponde al de equilibrio de la sección, y que el desplazado es el que sería de equilibrio tras la alimentación. También se ha discutido abundantemente acerca de que esos supuestos no corresponden con la realidad. A) El hecho de que los perfiles de casi todas las secciones en estas playas sean monoparábolicos o casi, no significa que estén en equilibrio estable. La realidad es que el equilibrio en condiciones de estabilidad o de hiperestabilidad de una playa da al perfil al menos una doble concavidad, de modo que debe formarse una barra inequívoca al menos; la presencia de barras indica que la sección es ya deficitaria en sedimentos. Reproducir el mismo perfil indica mantener el déficit o permitir la evolución a otro perfil con barra a costa de una menor anchura de playa. B) El hecho de que casi todos los modelos del mercado trabajen con perfiles “monoparábolicos” a los que tratan de ajustar los perfiles (erosivos en su caso) de las secciones reales, no se debe tanto a que sean o se consideren los de equilibrio estable expresamente cuanto a que tienen un tratamiento matemático más sencillo o a que se carece de un buen criterio.

**Definición del ancho de playa seca = 60 m  
(Berma horizontal = 35 m Pendiente dinámica = 25 m)**



Secciones teoricas de proyecto y comportamiento del perfil de relleno

Pero lo cierto es que son escasos los perfiles teóricos en uso de forma bicóncava. La escuela española de Ingeniería de Costas, merced al primer perfil teórico expuesto por IRIBARREN ya en 1957 en sus estudios y trabajos para las barreras litorales de Cartagena de Indias, ha desarrollado este perfil aunque no su empleo en modelos numéricos de cuantificación de volúmenes ni de morfodinámica de costas. Perfil que se puede demostrar que es el que realmente define el de equilibrio en cualquier playa con sedimentos suficientes (superiores o iguales al “umbral de estabilidad”) y que debe de ser el de referencia en este tipo de proyectos, ya que el monoparábólico, tras la alimentación suficiente, consumirá parte de su anchura de playa seca en generar la barra. Y todo ello es estrictamente aplicable a las playas en mares sin marea, porque en mares con marea la doble parábola (o doble curva cóncava) se refuerza por doble causa: la superficie intermareal y la zona de rotura del oleaje en bajamar.

De todo ello se deduce, en convergencia con lo expuesto más arriba en el epígrafe anterior adonde éste se remite a estos efectos, que los volúmenes determinados como requeridos, son inferiores a los realmente necesarios para la anchura de playa “seca” establecida como requerida en el diseño.

Por otra parte se discute también en los demás capítulos del Dictamen el problema del tratamiento en los documentos de las secciones tipos. En los diferentes estudios se consideran o proponen varias secciones en diferente número (3, 4, 7) sin una suficiente justificación para éstos. La partición realizada de la playa en tres tramos se podría basar en el efecto de apoyo y abrigo de ambas puntas, pero debiera entonces conducir a dos tramos extremos (los afectados por ellos) más cortos de lo que

se establecen en el anteproyecto en cuestión. Por la misma razón también lo debieran ser los tramos extremos de la partición en cuatro subtramos (la que corresponde a las secciones A, B, C y D). La partición más razonable de las propuestas en los diferentes documentos analizados es la que establece 7 secciones tipos: dos muy afectadas por las puntas, dos en los confines efectivos de tal afección y tres más a lo largo del tramo central para evaluar la gradación de los procesos. Pero también es razonable la basada en doce secciones con sólo las dos extremas manifestamente afectadas por las puntas y separadas todas por mil metros.

En cualquier caso, del análisis de los perfiles las secciones concretas se percibe en todos los casos que cuanto más al sur las secciones tienen más pérdida su barra, mientras hacia el norte se acentúan las reminiscencias de la misma, a lo que se da justificación adecuadamente en el análisis. La existencia de esa barra residual decreciente conforme pasa el tiempo (hasta 2001), no significa sin embargo que se reduzca en mucho la estimación del déficit de sedimentos justificado en este epígrafe. Y ello debe comprobarse ser aún más cierto cuando se pueda disponer de la batimetría en ejecución tras el Iván, y de la comparación, de nuevo y ya completa, de la evolución de los perfiles en los siete o doce secciones expuestas (mejor que en los cuatro) desde 1984 al 2004, algo fácil de determinar una vez terminada esa batimetría y referenciada a los que la CFE tiene en su banco de datos.

### **I.3. MONITOREO Y MANTENIMIENTO**

Los trabajos y estudios de la CFE han sido muy importantes y permitido una buena información sobre la zona a recuperar y sobre las áreas próximas con sedimentos disponibles para la extracción. Se ha lamentado en varias ocasiones de este dictamen, sin embargo, que no se haya abordado en ningún momento un levantamiento de afloramientos arrecifales, particularmente en la playa. En el momento de redactar (Diciembre 2004) este capítulo se está aún pendiente del levantamiento batimétrico de la playa tras el temporal de Iván, y se ha requerido para que, al realizarla, se complete con una identificación de los fondos de modo que pueda disponer de una información, siquiera sea grosera, de tales afloramientos en el momento actual. De no poder conseguirlo ahora se requerirá en todo caso en el momento de replanteo de las obras. Estas observaciones no son necesarias ya para el proyecto pero resultan inapreciables para un seguimiento adecuado.

Los trabajos de alimentación de la playa requieren de un seguimiento durante el período de ejecución (en bancos de préstamo y en playa) y después de las mismas para conocer la respuesta dinámica en ambas zonas y para poder adoptar en tiempo y forma adecuados las previsible operaciones de mantenimiento. En los bancos se debe saber que no se profundiza en la extracción más de lo aconsejable o especificada, si afloran o no arrecifes en el banco durante la extracción y si las características de los sedimentos se mantienen o cambian. En la playa, si evolucionan y cómo los perfiles durante la ejecución y si se recubren arrecifes aflorados. Después de la ejecución, se debe conocer la evolución de los espesores de sedimentos en los bancos y de los perfiles en la playa. Y si ésta sufre erosiones para poder determinar si requiere mantenimiento. Para todo ello en los últimos informes de la CFE se detallan opciones de seguimiento (monitoreo) que se suscriben aquí completamente sin más comentarios al respecto. Sólo merece una discusión específica el problema de las cuantías del mantenimiento de la playa. Se ha expuesto y tratado de justificar que los requerimientos de éste serán superiores a los estimados en los estudios, y se presume que serán máximos al principio, tras la alimentación, para ir atenuándose con el tiempo. Un buen monitoreo que determine los volúmenes de sedimentos perdidos en la playa desde el mismo comienzo de la

alimentación y, de forma topológicamente más detallada, desde el final de la misma, puede permitir tomar decisiones a tiempo también sobre la oportunidad y conveniencia de ejecutar obras complementarias de apoyo o de abrigo que atenúen el ritmo de las pérdidas de sedimentos. En este momento no ha lugar a discusión alguna sobre este tipo de obras, existe un aparentemente mayoritario acuerdo sobre inconvenientes medioambientales de este tipo de obras y el tiempo de discutirlo de nuevo corre en contra de las necesidades, económicas y medioambientales de la zona y de las propias necesidades ambientales de la playa; esto es, la prioridad ambiental es la recuperación de la playa, aunque sólo sea transitoria; y queda para un segundo lugar el debate -y la práctica- de si esta recuperación se realiza de un modo o de otro.

Sin embargo un análisis correcto muestra que a) en las zonas de préstamos, las extracciones intermitentes, sin descanso suficientemente prolongado, conducen a perturbaciones irreversibles de sus procesos biocénóticos, y b) en la playa, los vertidos continuados de mantenimiento no permiten una mejora de la imagen turística ni de la calidad de la propia playa. De modo que también existe acuerdo muy mayoritario sobre la conveniencia de que, de tener que adoptar medidas sobre obras complementarias, mejor es adoptarlo cuanto antes que esperar a que el problema se recrudezca de nuevo. Es por eso que conviene sacrificar la discusión actual sobre la necesidad de ese tipo de obras, basada en especulaciones sobre estimaciones de la durabilidad de la alimentación y la sensibilidad ambiental, determinadas con hipótesis y modelos numéricos de confianza siempre limitada, en favor de una discusión posterior basada en observaciones y determinaciones sobre la evolución real y comprobada de la alimentación y del medio, absolutamente incontestables entonces. Mientras tanto será el tiempo de justificar, en su caso, ante los organismos competentes y ante la sociedad en general las razones que permiten esperar unas necesidades de mantenimiento de la playa elevadas, unas dificultades crecientes para extracciones en los bancos ecológica y económicamente adecuados, y unos balances ambientales favorables a las obras rígidas complementarias, tanto por demostración de que éstas no son tan nocivas como hoy se da por cierto que lo son, como por comprobación de que las extracciones y vertidos de mantenimiento tienen una incidencia ambiental superior a la estimada.

Dada la validación que aquí se ha hecho de las bases para los programas de monitoreo y de mantenimiento se reproduce a continuación las propuestas elaboradas en la documentación del proyecto final propuesto:

Con el objeto de operar y mantener en forma apropiada la obra de relleno ya construida, se recomienda realizar las siguientes operaciones de monitoreo:

- Efectuar campañas continuas de mediciones de oleaje y corrientes con equipo autónomo en la zona de las Puntas Cancún y Nizuc, a una profundidad aproximada de 10 m, así como en la parte central, donde conviene se instale a la batimétrica -20.
- Llevar a cabo sistemáticamente levantamientos batimétricos, de preferencia cada 2 meses en el frente marino de 12 km, con secciones cada 250 m, hasta una profundidad de 20 m, con topografía detallada de la playa seca, incluyendo los paramentos de los hoteles. Con la información batimétrica y el clima marítimo incidente en la zona, se establecerá la respuesta de la obra al oleaje y corrientes presentes en la zona, lo cual servirá para calibrar el modelo de evolución costera utilizado.

- Establecer un programa de monitoreo del comportamiento de la línea de costa en tiempo real, mediante imágenes de satélite.
- Monitoreo continuo de bancos de arena disponibles, con los permisos actualizados y vigentes para la extracción de material de relleno en las zonas que así lo requieran.
- En caso de ocurrencia de un temporal o marejada alta que provoque erosiones considerables en la zona de proyecto, se requiere efectuar un monitoreo previo y post-tormenta para conocer la respuesta de la obra ante eventos extraordinarios.

Además, antes de la licitación se requiere contar con la siguiente información, con el fin de que las empresas que participen en la licitación cuenten con los elementos suficientes y confiables para formular su propuesta técnica y económica y para que La Contratante posea la información suficiente y confiable para efectuar el pago de las actividades de la empresa que gane el concurso:

- Batimetría detallada de los bancos de arena B3 y B4, así como de las rutas de navegación a la zona de la obra.
- Topo-batimetría de la playa, con identificación de singularidades (con secciones a cada 200 m).
- Cálculo actualizado del volumen de relleno requerido.
- Estudio del clima de oleaje 2D operacional, basado en 20 años de estadísticas.
- Batimetría de detalle en las zonas adyacentes a las puntas

#### **I.4. EVALUACIÓN DE POSIBLES CAMBIOS EN CORRIENTES Y SUS EFECTOS.**

La mera regeneración supone una disminución drástica de los cambios esperados en corrientes respecto de otros proyectos de defensa de costas que incluyan obras rígidas como apoyos o diques exentos de abrigo. Ya se ha discutido el problema, sobre todo referido a los dos tipos de soluciones que la CFE ha propuesto sucesivamente en sus informes y ya se ha expuesto que aunque se prefiere en teoría la solución del tipo de la contenida en el Informe final de la tercera etapa de esos estudios, se considera que no ha lugar a más discusiones al respecto y que la urgencia aconseja, mejor, impone, acometer cuanto antes la regeneración, para la que la única alternativa, administrativa y económicamente posible, es la mera regeneración mediante alimentación artificial con arenas. Pues bien, esta actuación no introduce ninguna singularidad adicional en el sistema, ni acentúa ninguna de las ya existentes, más bien las atenúa. Las dos puntas que delimitan el tramo de actuación y que actúan como singularidades geométricas (de apoyo) pero también dinámicas (de abrigo) van a ver reducido su papel como tales al ampliar la superficie de playa seca y avanzar la línea de costa y los perfiles. Sin embargo esto se produce manteniéndose dentro de los contornos de la playa antes de iniciarse los procesos de su erosión, de modo que las pequeñas modificaciones en las corrientes en los tramos extremos debidos a la atenuación de las singularidades en las puntas las mantienen dentro de su campo de variabilidad natural reciente.

Y lo mismo puede decirse respecto de lo que la alimentación arenosa suponga para la eliminación o atenuación de los efectos dinámicos (de abrigo o inductores de corrientes de retorno –“rip currents”-) o de contención de los arrecifes sumergidos hoy aflorados, porque la situación final tras dicha alimentación dejaría los fondos en situación coincidente con alguna de los que, en este período de erosión posterior al desarrollo turístico inicial del cordón, ha mostrado la playa en su evolución natural.



Corriente de Retorno o “Rip Current”

Quiere ello decir que el proyecto en cuestión no genera ningún cambio artificial en las corrientes respecto de los que se producen en todo el cordón en forma natural en situación de estabilidad o durante su proceso de erosión. Y que por tanto no hay lugar a requerir ninguna evaluación de cambios hidrodinámicos ni morfodinámicos concretos, particularmente mediante modelos. En todo caso, entre los estudios realizados por la CFE se han evaluado ya estos cambios mediante modelos adecuados y suficientes, tanto el GENERIS como los del DHI.

La aplicación del GENERIS en la tercera etapa está analizada y discutida en el punto correspondiente de los capítulos que siguen, pero adolece del inconveniente de aplicarse sobre una línea de costa rigidizada por un tubo protector de la playa. Las estimaciones de la CFE que conducen a los 160.000 m<sup>3</sup> de pérdidas anuales tras la regeneración pueden estar del lado de la inseguridad, pero una estimación más correcta requiere previamente definir el proyecto ejecutivo. Bastará aplicar entonces de nuevo el modelo, cualquiera de los del mercado, para estimarlo y seguirá estando la evaluación por defecto por el problema de los perfiles transversales y de su profundidad de cierre, que se discute varias veces en los capítulos que siguen y que afecta de manera análoga a todos los modelos del mercado.

## **I.5. CONSIDERACIONES PARA LAS BASES TÉCNICAS DE LA M.I.A.**

Una manifestación de Impacto Ambiental, partiendo de los objetivos de un proyecto concreto en un entorno determinado, cuyas adecuación y modificaciones por impacto respectivamente evalúa, llega a adquirir, por su propia naturaleza y objetivos, una cierta autonomía e identidad propia respecto de las del proyecto considerado y de las propias características puestas de manifiesto por los estudios del medio. Y no es este Dictamen el indicado para establecer todas las Bases Técnicas para su desarrollo. Por el contrario se pretende aquí exponer los elementos específicamente afectados en el medio, real y potencialmente, por el proyecto concreto, y los criterios para valorar correctamente estas afecciones en su caso.

Una primera consideración introductoria afecta a la naturaleza y alcance del proyecto ejecutivo. Entre los propuestos hasta la fecha los hay con mera alimentación con arenas, como es el caso de la última propuesta, y los hay que incorporan obras “rígidas” de apoyo, abrigo o protección, finalmente desechadas en la propuesta final. Se debe considerar que esta elección viene sobre todo impuesta por la actual mayor preponderancia de sensibilidad ambiental, que desconfía del posible carácter ambiental de las obras rígidas. El autor ha mostrado cómo una obra rígida puede ser ambiental (y por ejemplo nadie le discute tal carácter a un cabo o islote naturales en la costa), y recíprocamente a las obras “blandas” como el aportar arena. Del análisis de los documentos que refieren los estudios realizados en estas playas, no hay razón para considerar que tales obras necesariamente hubieran de ser ambientalmente nocivas, antes al contrario si adecuadamente diseñadas y ejecutadas.

Pero en el momento procesal actual esta discusión debe darse por zanjada, al menos por el momento y hasta una vez finalizado la ejecución del proyecto de regeneración; porque por unos u otros se ha tomado conciencia de que las obras rígidas tienen diferente estima entre unos, y otros y que esas diferencias de criterio sólo conducirían a una demora y discusiones con difícil soporte “experimental” para alcanzar un acuerdo general, si no unánime y porque toda demora supone el mayor daño ambiental que se le puede producir a esta área al suponer una dilación en la decisión sobre la regeneración. No hay por tanto cuestión. Se propone y estudia una mera regeneración mediante alimentación artificial con arenas marinas y, eso sí, se recomienda un seguimiento tan exhaustivo como el propuesto en el proyecto de la CFE, que permite comprobar si esas obras mejorarían el funcionamiento ambiental posterior en razón de la nueva consideración entre las mismas y los mantenimientos necesarios debido a su ausencia.

## **I.5.1 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS**

Son pocas las que se pueden establecer desde un proyecto específico, pero, sobre todo en los proyectos en el ámbito costero-litoral, es esencial que desde el origen el proyecto ejecutivo incorpora la sensibilidad y compromiso ambientales: la primera garantiza su éxito ambiental y el segundo garantiza contra un posible fracaso parcial o local. Adicionalmente es recomendable una estructura coherente y una metodología sistemática en la valoración de los elementos y circunstancias.

No es posible para el autor de este Dictamen valorar la importancia de la perspectiva ambiental, sobre la económica, en los primeros y posteriores estudios realizados para llegar a un proyecto ejecutivo de recuperación de estas playas, pero hoy, y esto es lo importante, hay acuerdo general, y los propios estudios han conducido sin duda a él, de que tal proyecto es sobre todo un auténtico “proyecto ambiental”, entendido por tal el que tiene como primer y fundamental objetivo el mantener un entorno, y recuperarlo en la medida en que el devenir de los acontecimientos ha estado degradándolo; si esta degradación ha requerido de la colaboración necesaria de las actuaciones humanas no puede reprocharse que sean actividades humanas las que conduzcan a esa recuperación. Y ello con independencia de que el proyecto consiga además proteger un entorno con actividad turística y económica. Estas actividades requieren siempre un soporte ambiental adecuado y, cuando generan procesos que conducen a su degradación y riesgo de fractura es necesario generar los mecanismos para recuperarlo. Tal es el caso de este proyecto, crecientemente perceptible en los motivos de los estudios realizados hasta hoy y de las alternativas de proyecto propuestas.

Con un carácter más particular, pero siendo conscientes de que se trata de bases de general incorporación a las MIA de todo tipo de proyectos, se quiere llamar la atención sobre algunos puntos, antes de abordar en el epígrafe siguiente las bases específicas, que se deben considerar también relevantes para la MIA de este proyecto.

El primero se refiere a la *evaluación de los impactos*, que requiere una previa *identificación* de los mismos suficientemente singularizada para discernir mejor los efectos de los *diferentes elementos* del proyecto sobre los del medio y lograr una mayor precisión en su evaluación, pero también como modo de facilitar la identificación de las posibilidades de *prevención y/o mitigación* de tales efectos o impactos considerados negativos; requiere un buen discernimiento entre las *alternativas* diferentes del proyecto, en su caso, y, en cada una, un buen análisis de cada una de las *acciones* del proyecto en su potencial para la *generación de impactos*.

El segundo se refiere a una *identificación completa del medio*, de modo que se puede disponer de un *inventario ambiental* suficientemente desglosado por elementos y *factores* para facilitar la fase analítica a la que también hace referencia el párrafo anterior; incluye una buena identificación de los factores susceptibles de recibir o sufrir impactos. Tanto para ésta como para la anterior consideración o recomendación puede ser de ayuda importante el contenido del epígrafe siguiente en el que se analizan de nuevo los procesos generados por este tipo de proyectos en su entorno y se particulariza al caso de Cancún y del proyecto propuesto en la Documentación analizada, todo ello, desde la perspectiva de la manifestación de impactos.

El tercero y último se refiere al avance de un *pronóstico ambiental* o de la evolución del sistema suficientemente acabado para conducir a establecer un programa coherente de *vigilancia ambiental* que pueda ejecutarse mediante los trabajos que el proyecto establece de *monitoreo*, y que sea susceptible de incorporar las operaciones que el proyecto también prevé de *mantenimiento*.

## **I.5.2.- CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO**

Todo proyecto de regeneración de playas con alimentación artificial de arenas naturales tiene dos zonas donde se manifiestan sus impactos ambientales a efectos de la MIA: la de extracción y la de relleno; y aquellos se producen como consecuencia de las acciones de dragado (en la primera) y vertido (en la segunda) y de los cambios topológicos (en ambas) e infraestructurales (en la segunda) en aquellas zonas. Desde el punto de vista del costo del proyecto el problema crítico suele ser económico-financiero, en razón de la estabilidad y mantenimiento requeridos por la regeneración ejecutada, pero también ecológico en razón de los impactos de las diferentes actuaciones, y también de la mayor o menor repercusión de la reiteración del dragado en la misma zona.

En ambos casos, con o sin obras infraestructurales complementarias, sin embargo, la alternativa de no regeneración tiene su correspondiente valoración, tanto para la MIA como para la evaluación económico-financiera. La situación morfológica del cordón litoral de Cancún es dramática con

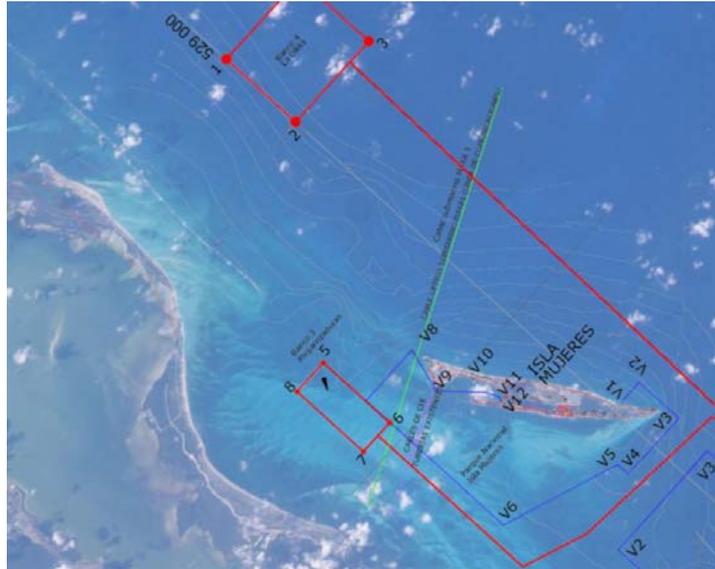
riesgo del propio cordón y de su laguna litoral, de modo que en este caso la no regeneración siempre será menos deseable desde todo punto de vista porque los daños económicos y ecológicos, si bien que estos últimos sólo a largo plazo, serán mayores si no se actúa inmediatamente. Por otra parte la regeneración puede conseguir, como se justifica en este dictamen, una mejora de la situación ambiental respecto de la situación actual, tanto en la zona de playa, donde ésta mejora es obvia económica y ecológicamente –en el biotopo y en la biocenosis, en soporte sólido y en el acuoso- como en los bancos de dragado, todos los cuales vienen sufriendo una mayor acumulación de sedimentos móviles desde el principio de la erosión de las playas.

En la zona de vertido los impactos difieren en función de la naturaleza granulométrica y mineralógica de las arenas de vertido en comparación con las propias de la zona. Los vertidos del relleno, afectan a poco más que al perfil de playa y su entorno, y principalmente detrás de las rompientes. En muchas ocasiones la afección es duradera hasta que se homogeneizan las arenas autóctonas y de alimentación y la afección va más allá de la compatibilidad granulométrica, algo que con la homogeneización se puede alcanzar a costa de pérdidas de material. Pueden afectar a la biocenosis al modificar las características físico-químicas del sistema granular. En este caso la naturaleza de las arenas es la misma porque son las mismas arenas y, en consecuencia, sólo tienen impacto diferencial durante la ejecución, y ello a causa de la turbidez generada ya que los materiales, granular y mineralógicamente, son los mismos y de la misma procedencia; y en última instancia los fondos afectados han sido previamente erosionados de materiales semejantes a los ahora vertidos. Entonces fue cuando se produjo el auténtico daño ambiental que actualmente sigue sufriendo la playa; y por otra parte se debe considerar también que esa turbidez ya se da en forma natural en esa zona, y en grado relativamente más intenso al haber mayor agitación, y no puede por tanto considerarse significativa, ni en el vertido de la ejecución del proyecto ni en los sucesivos vertidos del mantenimiento que se pueda –que así será- requerir, en su caso.

Además de la turbidez que pueda generarse en la zona de extracción, que afecta a la biocenosis planctónica y bentónica, otra consideración merecen los efectos de los dragados, que pueden afectar tanto a los fondos como a los posibles caladeros de los mismos. Los fondos arenosos móviles, libres por tanto de praderas sumergidas, suelen considerarse “desiertos submarinos” porque en ellos las tasas de biomasa son reducidas. Pero ello no obsta para que lo cierto sea que con frecuencia no son tan reducidas las tasas de sus flujos de intercambio, y los “arañazos” o erosiones causados por la operación del dragado afectan a los mismos a través de las perturbaciones reológicas y desestructurantes de su sistema granular siguiendo el mecanismo que se expone más adelante. Un dragado para el proyecto ejecutivo de un relleno, ejecutado respetando parte de los espesores del sedimento como se contempla en la propuesta de la CFE, es recuperable en pocos años como biotopo de transferencia de biomasa y energía de los caladeros. Mayores problemas pueden generarse a largo plazo, en cambio, si se recurre a dragados frecuentes en los mismos fondos, bien por más necesidades de alimentación o por las del simple mantenimiento, debido a una a modo de “fatiga” de su “tejido” granular causada por la histéresis de la adaptación reológica del mismo. No cabe duda sin embargo que dragados separados en el tiempo suficientemente (del orden de la década, más o menos o algo menos en áreas de clima suave como ésta) son perfectamente recuperables por lo que, de requerirse operaciones de dragado para mantenimiento de rellenos con mayores frecuencias, habría que recurrir a bancos de arena distintos, pero también bastaría con ello. Los bancos utilizables de menor capacidad estudiados por la CFE en la Documentación analizada son válidos para esas operaciones, pero, claro está, tienen el límite impuesto por sus volúmenes e isopacas.

El impacto morfológico se produce tanto en las zonas de vertidos como en las de extracción. En la primera ocasiona un mero desplazamiento de corrientes hacia el mar, pero ya se ha comentado en

I.4 que esos cambios son irrelevantes y, en todo caso, corresponden al sistema en un estado más próximo al original o de equilibrio natural. El que se produce en las zonas de extracción puede ser más significativo y, al no conocer la situación de los bancos antes del proceso erosivo de la playa, no se puede realizar una afirmación semejante, pero la realidad es que los bancos a emplear apenas suponen impacto en ninguna de las formaciones playeras de todo el área, extendida a Bahía Mujeres, profundizarse en unos pocos metros. En “La Ollita” están ya profundos y alejados, y en Megarrizaduras, el número y movilidad de éstos atenúan el efecto de estos cambios en forma radical.



**Bancos denominados “la Ollita” y “Megarrizaduras” desde el espacio.**

Efectivamente, el impacto con el dragado a profundidades suficientes, cuando los sedimentos pueden considerarse perdidos ya para el transporte litoral y no susceptibles por tanto de ser recuperados para el perfil de playa activo, como ocurre con todas las zonas analizadas en los distintos estudios e informes para seleccionar los bancos de aportación. En contrapartida, a la hora de una evaluación ponderada de los auténticos impactos ambientales de las operaciones de vertido y de dragado en este caso singular del cordón y playas de Cancún, debe de tenerse en cuenta que los procesos erosivos ya ocurridos a lo largo de más de dos décadas, los debidos al Gilberto y los de carácter habitual, han permitido aflorar y sufrir erosión a gran parte de los arrecifes litorales que amortiguaban el equilibrio sedimentario y garantizaban el “apoyo” de los perfiles transversales, y que sin duda lo siguen haciendo a costa de haber reducido su potencial estabilizador durante estos años.

Y de la misma manera que con respecto a los arrecifes aflorados, debe también de tenerse en cuenta que, adicionalmente, los bancos de arena que permiten hoy las extracciones de dragado para los rellenos tienen, o han tenido en parte difícil de precisar al carecer de información



**Imagen desde el espacio tomada en Noviembre de 1994. Nótese la claridad con que se aprecia arrastre de sedimentos hacia el norte.**

anterior suficiente, su origen y acrecimiento actuales en los propios sedimentos erosionados de la playa, que han venido invadiendo y cubriendo fondos, arrecifales o no, por lo que, durante su emigración forzada hacia mayores profundidades están ya produciendo impactos por invasión de los fondos preexistentes. Desde ese punto de vista se puede considerar que los dragados restaurarían en cierto modo y en magnitud imprecisa una situación anterior que se ha empezado a perturbar desde que la erosión neta de la playa empezó a manifestarse, esto es, desde, probablemente, que la excesiva ocupación del cordón NIZUC-CANCUN-, especialmente en las zonas dunares y más próximas a la línea de playa, ha desencadenado el proceso creciente de erosión de éste, incapaz de ser compensado con las alimentaciones naturales desde los arrecifes situados enfrente y por el transporte litoral que repasa la Punta Nizuc (como se dijo, con toda seguridad desde ya antes de la ocurrencia del Gilberto).

Claro está, en este complejo proceso erosivo en evolución, donde lo primero que se produce es la erosión “profunda”, la que descubre los arrecifes que afloran en las proximidades de la playa y la que cubre arrecifes lejanos, para irse propagando a la de la propia playa y de la duna, el resultado final, el que hoy se percibe sobre todo por encontrarse emergida, es la erosión de la playa seca, que ha desaparecido totalmente en gran medida, y también en la de la duna, que ya es perceptible en los pocos tramos en que se conserva, siendo así que ésta es la que mantiene activo el cordón litoral. La gran virtud de las dunas en los cordones es que actúan de amortiguadores de la erosión y garantes del equilibrio, desde el lado de tierra, análogamente a como los arrecifes o barras litorales lo hacen desde el lado del mar.

En una situación como la presente, con arrecifes y dunas ya tocados, los procesos pueden estar acentuados porque la “erosión profunda” ha generado ya perfiles transversales característicos que permiten una agitación apreciable en la propia playa, lo que potencia la capacidad erosiva sobre la misma y la capacidad de transporte. En un tramo de costa donde ha quedado probado y observado que parte significativa de las pérdidas de arenas en el tramo se producen por su salida del mismo por delante y a través de la Punta Cancún, el éxito final de la recuperación se acelera a base de sobredimensionar el volumen de alimentación de arenas, aunque también a base de rigidizar el tramo con obras de apoyo/abrigo y de contención.

Las obras de apoyo y protección favorecen la permanencia de los sedimentos y reducen los dragados y rellenos de mantenimiento con efectos económicos y ecológicos positivos en el mantenimiento, pero introducen un costo adicional y ciertos impactos ambientales locales: los de los apoyos, en unas puntas rocosas, como es el caso, son despreciables empleando roca calcárea de la zona, y su efecto visual también soslayable con diseño adecuado como el que se propone; los de la protección, tanto la enterrada en la plataforma de playa como si constituyera un apoyo de pie de perfil, se reducen a los del geotextil empleado en una zona sin biocenosis significativa y en un biotopo al que en todo caso estabiliza y mejora desde el punto de vista de aquélla.

Es esta alternativa, sin embargo, algo que aquí no se cuestiona, ni se recomienda cuestionar ahora ante la evidencia, puesta de manifiesto varias veces en el dictámen, de que toda discusión al respecto sólo demora la toma de decisiones, demora sin duda larga ante la falta de pruebas concluyentes a favor de ninguno de los argumentos; y de que el mayor daño a lo la playa hoy se está produciendo por la inacción en las medidas para su protección; cualquiera que fuere lo mejor, y la cuestión permanece abierta al debate, lo mejor, en su caso, habría de ser enemigo de lo bueno; y lo bueno, sin duda, es la urgente regeneración mediante alimentación.

En consecuencia una razonable percepción del problema ambiental del entorno del cordón de Cancún se puede enunciar según el siguiente discurso conceptual que, sucesivamente, va estableciendo las bases técnicas específicas desde las que deben contemplarse y estimarse los impactos ambientales de cualquier proyecto de actuación pero, muy particularmente, el de la regeneración de la playa de su cordón litoral.

*Ante todo es preciso la evidencia de la necesidad de detener la erosión del cordón y de regenerar su playa reponiendo*, en todo o en parte significativa, las arenas perdidas por erosión en las últimas décadas. No se trata sólo de su recuperación para uso lúdico o como protección de las enormes inversiones turísticas ya desarrolladas y de las expectativas aún por desarrollar, sino de percibir el riesgo de rotura del cordón litoral, que conllevaría el de la desaparición del ecosistema lagunar, y la realidad actual de la destrucción ya prácticamente culminada del ecosistema litoral playero, que incluye el afloramiento y erosión de arrecifes antaño cubiertos y el enterramiento de otros, más profundos y por ende menos erosionables entonces, antaño aflorados.

Con esa percepción es consistente la consideración del proyecto de recuperación de la playa, la única protección y defensa del cordón, como *una intervención de carácter ambiental*, conducente sobre todo a preservar los ecosistemas no más degradados de lo que están, sin fracturas potencialmente más graves que las ocurridas hasta ahora, y que requiere para mayores garantías recuperar situaciones pasadas en que playa y cordón tenían fortaleza y estabilidad hoy perdidas.

Esa disposición de partida permite *discutir ente unos tipos de proyecto de regeneración y otros*, especialmente en lo que se refiere al recurso a obras fijas de carácter rígido o cuasi rígido cuya valoración general no es positiva, aunque hay fuertes argumentos para demostrar que eso no siempre es correcto y existen por tanto razones para creer que se trate de una valoración sesgada, pero que deja en evidencia el diagnóstico cierto de que *la alternativa llamada cero es la peor de todas*, y el subordinado de que demorar la actuación de regeneración en razón de mantener la discusión sobre si obras rígidas sí o no es en cierto modo un sucedáneo temporal de la alternativa cero.

Con o sin obras rígidas la afección de impactos se produce *en dos tipo de áreas, la de extracción de arenas y la de vertido de estas* (la playa). Pero contemplando, como se ha expuesto, que una extracción y depósito inversos está en marcha, con procesos “naturales” pero de generación también antrópica, desde que se iniciaron los procesos de erosión neta de la playa (el transporte en equilibrio natural siempre existió hasta desencadenarse las erosiones, principalmente por ocupación del cordón, y en forma excesiva); de modo que *las arenas extraídas proceden o son alternativas de las áreas donde se van a verter*, y que al valorar los impactos generados por la turbidez del material de extracción-alimentación sobre la biocenosis, se tenga en cuenta que ya se genera una turbidez en el proceso erosivo.

Sin embargo se llama la atención sobre el hecho de que los fondos arenosos, aunque suelen ser considerados como “áreas desérticas”, corresponden a las zonas donde se da la mayor proporción de transferencia energética y de biomasa entre los componentes de los niveles tróficos de seres heterótrofos, *por lo que si las lesiones de un dragado único son fácilmente reversibles*, su evolución tras el mismo sigue un modo de histéresis conducente a una respuesta reológica que se resiente a

largo plazo si se somete a extracciones demasiado frecuentes, o realizadas demasiadas veces, que afecta de modo importante a la recuperación de la *estructura y comportamiento reológico de los fondos*. Y recíprocamente, que también el transporte sólido en condiciones naturales genera *impactos en la zonas de extracción* que quedan atenuadas, en su caso y especialmente, si aquel transporte se originaba en las playas erosionadas o en las “áreas madre” de las arenas de las mismas. Y dentro de los impactos sobre la biocenosis, en razón del lugar del planeta en que este proyecto se ejecuta, parece obligado tener en consideración especial el *impacto sobre la población de tortugas*.

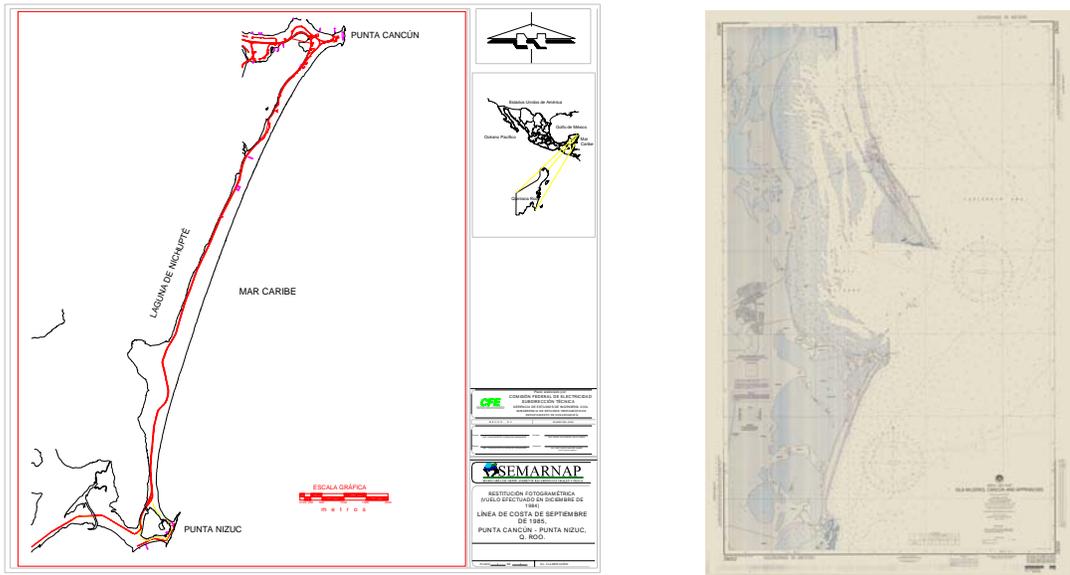
Hay dos criterios que conviene tener presentes a la hora de enjuiciar el comportamiento ambiental de la zona en un proyecto de esta naturaleza y que son: a) *la respuesta morfodinámica unitaria de todo el tramo*, al ser éste una única unidad fisiográfica y morfodinámica, y relativamente singularizada por la presencia de las dos puntas, y b) la consideración de *las dunas como parte integrante de la playa*, de modo que la respuesta a las acciones fluidodinámica litorales resulta acoplada y conjunta.

Y dos consideraciones finales que se deben resaltar: *los estudios realizados hasta la fecha por la UNAM y CFE son suficientes* –salvo las investigaciones específicas de reconocimiento que procedan- para elaborar el proyecto y su MIA, y ambos deben someterse durante la ejecución de las obras y después a un *programa de seguimiento o nomitoreo* que vaya confirmando las actuaciones requeridas y necesarias de mantenimiento de la playa, ya que ésta, como se ha expuesto, no es un mero elemento decorativo sino también el principal elemento de protección y conservación ambiental.

## CAPITULO II.- INFORME PREVIO: SOBRE LOS ESTUDIOS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS A PROPOSITO DE LAS PLAYAS DE CANCUN DE LA “DOCUMENTACIÓN PRIMERA”.

Conviene decir antes de nada que, en el momento de redactar el borrador de Informe Previo que sirvió de base a este Capítulo, la información que se había recibido y analizado era el Informe final, de los estudios que la CFE venía realizando desde 2000 sobre las playas de Cancún para diversos organismos coordinados y su Anexo Técnico, con la información gráfica que se incluía en la Carpeta impresa (en la que se encuadernó no se dispuso aún del CD correspondiente), y de cuatro documentos de la CFE para FONATUR, también en su versión impresa, y que han resultado ser cuatro de los Informes contenidos en la Carpeta de la Primera Etapa de dichos estudios, entregada después con la de la Segunda en un CD al autor de este Dictamen en las oficinas de la CFE en Septiembre de 2004. El tal Informe Previo se ha modificado y adecuado conforme a las aportaciones contenidas en los restantes documentos de ambos Cds. Aunque los análisis de detalle de los documentos de ambos que se consideraron pertinentes se han desarrollado en el Capítulo IV.

No cabe duda, a la vista del conjunto de Estudios e Informes que se han analizado, y que se explicitan (II.2) tras la Discusión (II.1) que sigue, de que la regeneración de las playas entre las Puntas de Nizuc y de Cancún es necesaria, más allá de su oportunidad y conveniencia, y urgente; para el mantenimiento de la infraestructura turística, ya existente, independientemente de cualquier hipótesis de expansión de la misma, y para la preservación del ecosistema actual, toda vez que existe riesgo de ruptura de la barrera arenosa litoral en varios puntos, aunque no se perciba inminencia en ella, porque la erosión “profunda” en la misma está permitiendo el afloramiento de formaciones arrecifales y su posterior erosión, tal y como se justifica en los Análisis del epígrafe II.3, anexos al Informe general (previo) que configuran los epígrafes II.1 y II.2. Informe que sobre todo enjuicia el INFORME FINAL de la CFE del año 2003, pero también los Documentos anteriores referenciados en él y que se relacionan como Documentos 1 al 4.



Línea de Costa existente en 1984, y Batimetría de la Bahía de Mujeres, incluyendo los Bancos de arena.

## II.1 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

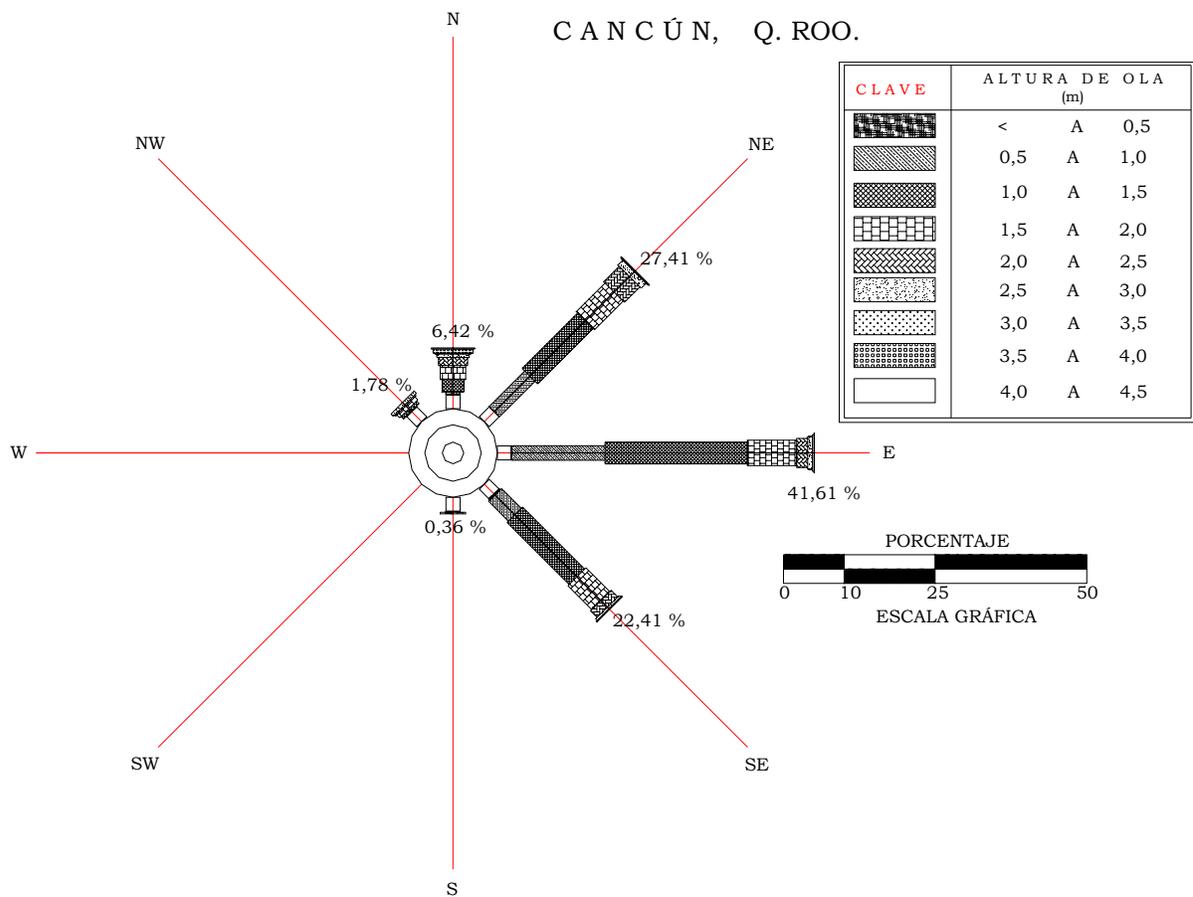
Es obvio, tras lo ya expuesto, que esta discusión se restringe a la de los Estudios de la Primera Etapa (incompletos como se ha expuesto) y del Documento Impreso con el Informe Final y su Anexo Técnico de los Estudios y Trabajos de la CFE. Pero también que incorpora el conocimiento y experiencia previos del autor sobre la zona de estudio, su clima y su morfodinámica.

**El Informe final** (ver II.2), contenido en la Carpeta Documento final de Diciembre de 2003 consiste en una propuesta de Proyecto Base o Anteproyecto bastante definido para la regeneración de la playa del Cordón entre Punta Nizuc y Punta Cancún, soportado en un Anexo Técnico bastante completo y, en algunos temas, muy detallado. Evalúa la regeneración en 3 millones de m<sup>3</sup> y las pérdidas anuales medias estimadas, después de élla, entre 110.000 y 160.000 m<sup>3</sup>. El estudio de los bancos para la extracción de arena es detallado, aunque pudieron hacer uso de sus datos y resultados analíticos para profundizar en los procesos litorales y en sus mecanismos de desestabilización de las playas. (ver el Capítulo VI y su Anexo)

En efecto, los estudios de los bancos, y aunque no se acompañan en estos documentos de otros análogos sobre los sedimentos de las playas (los de otro documento anterior son de difícil comparación con los de éste, como allí se discute; pero los obtenidos finalmente, aparte de algunos problemas con las densidades, demuestran inequívocamente la “identidad” de todos los sedimentos), parecen señalar evidencias de una estrecha relación entre los materiales de los bancos y los de las playas, por una parte, y de la aparición por afloramiento y posterior proceso de erosión de arrecifes “relictos” en la parte sumergida de la playa, por la otra; arrecifes que parecen de composición en todo análoga a la de las playas actuales una vez cementados merced al equilibrio físico-químico de los iones carbonato-bicarbonato presentes en disolución en el agua y en situación, a veces, de sobresaturación. (Documentación anterior, pero recibida posteriormente de la CFE como “Tercera entrega”, aporta información abundante de muestras de playas que confirman la hipótesis de la semejanza de los sedimentos, y reconocimientos oculares y fotográficos de los fondos demuestran la aparición de los arrecifes referidos, según comunicación verbal del personal de la CFE y de lugareños).

Sí explican bien sin embargo las evidencias sobre el predominio del transporte paralelo hacia el Norte (punta Cancún); y también sobre la alimentación neta del tramo por punta Nizuc (aunque menor que aquél, lo que se resuelve en erosión neta en el conjunto de la playa) y sobre la pérdida neta de materiales por delante de punta Cancún, ambas permitidas y producidas por dicho transporte longitudinal. Pero aunque señala bien las evidencias de un transporte transversal neto hacia el mar, y alude a las dificultades para la recuperación de los perfiles de las playas por incapacidad, dice, de elevar los sedimentos por ellos, parece no percatarse de que la propia presencia de los arrecifes “relictos” constituiría, probablemente y en su caso, el principal factor para esta dificultad. Arrecifes que afloraran tras un largo proceso erosivo en la parte “profunda” del perfil de las playas, posiblemente agudizado intensamente durante el paso del Gilberto. Ciertamente, ninguno de los estudios se ha planteado este asunto y bastaría hacer un reconocimiento de fondos, siguiera grosero, para ponerlos de manifiesto, en su caso; sin embargo es este un trabajo que puede postergarse para el monitoreo posterior a la regeneración, ya que las informaciones verbales recibidas en la visita a México y la documentación fotográfica aérea mostrada confirma sin lugar a dudas la presencia de los arrecifes, por lo que su papel antiestabilizador no puede ignorarse.

Los oleajes manejados en la estimación de los transportes parecen los medios, no se ve el régimen extremal “normal” ni se tiene en cuenta el de temporales (que sí se analiza en otro informe anterior y en estudios previos), de donde es de temer que las pérdidas estimadas, tanto por transporte longitudinal como por el transversal, sean inferiores a las reales. El módulo LITLINE del modelo LITPACK para el análisis de líneas de playa y el módulo LITDRIFT, del mismo modelo, para la estima de los transportes, basados en unos perfiles transversales que considero truncados por su parte inferior como se explica en los Análisis anexos que siguen, creo que dan valores por defecto, y la no consideración de la presumible presencia, y de su consecuente comportamiento, de los arrecifes, en su caso, acentúa la magnitud de ese defecto de estimación. La propia partición del tramo total en los tres sectores indicados, con un sector central acortado a favor de los extremos, pudiera acentuar también el defecto de estimación contra lo que pudiera parecer. El efecto de las puntas sobre los tramos extremos no se extiende tanto como lo que los tres sectores de la partición dan a significar. Y todo ello, sin haber dado entrada a los huracanes en el razonamiento.



**Figura 4.1.6 Rosa de oleaje ordinario significativa de invierno.  
Satélites GEOSAT, TOPEX/POSEÍDÓN y ERS1. 1986 – 1997.**

Consecuentemente el sector central debe de ser más extenso a costa de los sectores extremos y, aun prescindiendo de si ello afecta en más o menos a las cubicaciones realizadas, el resto de los factores discutidos están conduciendo a una cuantificación por defecto. Por lo mismo, y finalmente, la

cubicación de las necesidades de regeneración debe también de ser escasa en razón a) de la aplicación del modelo B-Map a un perfil “incorrecto”, b) de la no consideración del perfil completo y c) de la propia sectorialización expuesta del tramo, en su caso, tal y como se justifica razonadamente en el Epígrafe II.2, a continuación.

En consecuencia pareciera que la alimentación requerida debe ser mayor de la expuesta en el Informe (3 millones de m<sup>3</sup>) para las anchuras deseadas de playa, y que la duración esperada de la misma no alcanzaría la prevista en el informe, incluso sin la presentación de temporales (difícilmente superaría los 12 años); de ahí que se considere conveniente, si no necesario, algún tipo de infraestructura que atempere las pérdidas anuales, aunque tampoco facilite las ganancias “on-shore”: mediante alguna solución del tipo de las enunciadas en informes anteriores de la propia Documentación consultada. Esta necesidad de obras, complementarias a la regeneración mediante alimentación con arenas, ya ha sido puesta de manifiesto por las Referencias 7, de la UNAM, y 10 (G.S., Ingeniería Integral) citadas y asumidas en los Documentos 1 y 2 de las primeras etapas del estudio de la CFE que se analizan a continuación en los Análisis Anexos (II.3), y posteriormente en el Informe del Proyecto ejecutivo que culmina la tercera fase de los estudios CFE y que se analiza en el Capítulo III. (Los Documentos 1 y 2 citados se encuentran en la carpeta “Recopilación” de la primera etapa, como informe, estudio teórico.

Para el proyecto de ejecución de estas obras creo que los modelos del MIKE 21, también del Danish H.I., pueden ser adecuados perfectamente, aunque puede valer también el LITPACK, cabe decir de lo oportuno de una investigación batimétrica de detalle para localizar y evaluar la presencia y extensión de los arrecifes aflorados hasta ahora y del potencial afloramiento en un futuro inmediato.

**El Informe del denominado Documento 1** (está en el de Recapitulación de la 1ª Etapa) es previo al anterior y realizado en la primera etapa de los estudios de la CFE; se basa en Estudios de la UNAM anteriores todos a 1991, que están bastantes reconsiderados en otros posteriores realizados por la propia CFE. No merece pues demasiada detención en él; pero aporta informaciones que confirman los procesos longitudinales y transversales expuestos; también los que hacían esperar una recuperación de las playas tras el Gilberto y que se vio fallida en otros estudios posteriores. Por lo demás se cuestionan muchos de los análisis y conclusiones del estudio de origen y se plantean investigaciones posteriores. Sin embargo creo (ver II.3.2) que su modo de análisis fue bueno y ha ayudado a desentrañar los procesos climáticos y litorales, y que sólo ciertas imprecisiones o confusiones en determinados datos y algún “lapsus” conceptual o metodológico difícil de precisar en base sólo al propio Documento le condujo a resultados contradictorios y, a veces, cuestionables; y también que su idea de la necesidad o conveniencia de obras de contención de los sedimentos es plausible. (A anotar que las diferencias entre las densidades de los sedimentos de las playas que se dan en este Documento y las de los sedimentos de los bancos que se dan en el Informe final anteriormente enjuiciado tienen que deberse a la técnica o al modo de determinación que afecta a las propias muestras consideradas, pero no al material en sí que, sin duda, es el mismo. Lástima no haber determinado materia orgánica y porosidad). Y queda recogido también en otro lugar en el **Documento 2**, que analiza el estudio de la consultora G.S. Ingeniería Integral, trabajo bastante posterior a los de la UNAM. (ver II.3.3), y que resultó formar parte también del Informe de Recapitulación de la primera etapa.

El tercer grupo de Informes lo componen los **Documentos 3 (de Diagnóstico) y 4 (de Estudio Oceanográficos)**, que incorporan estudios de la CFE del año 2000 en sustitución de los antiguos de

la UNAM. El Documento 3 aparece entre los de la Carpeta Documentos y el 4 en la de Oceanografía de las que conforman los de la primera etapa de trabajos de la CFE.

**La investigación Oceanográfica** puede darse por buena para el Diagnóstico, con los reparos que se recogen en el Análisis Anexo del Documento 4, (ver II.3.5) pero a los efectos de un proyecto de ejecución de obras de apoyo, incluso para determinar su necesidad y sus dimensiones, es preferible estimar los oleajes de cálculo, tanto para determinar el basculamiento del perfil transversal como para dimensionar y posicionar los apoyos. Contar con los Regímenes de Oleaje y Temporales, tal y como se justifica en otro lugar Pero las estimaciones realizadas no son desechables sino que pueden darse por válidas, en su caso. El rechazo medioambiental a esos apoyos elimina la necesidad de nuevas determinaciones del oleaje, sin embargo, y el recurso al régimen de Oleajes en el año medio debe realizarse solicitándose a la CFE, ya que tiene el banco de datos suficiente para determinarlo.

La ventaja del Régimen de Oleaje frente al Oleaje medio empleado en los trabajos de la CFE radica en que aquél permite adecuarse a las capacidades reales de transporte, proporcionales a  $H_s^n$  para cada estado del mar, mientras que el segundo toma como valor medio de  $H_s^n$  el de  $(H_s)^n$ , lo que sin duda resulta por defecto.

**El Documento 3** no sólo ofrece el Diagnóstico sino que avanza la solución. Y resultó ser el Informe de Diagnóstico de la Primera Etapa.

- Respecto del Diagnóstico, concreta más y mejor los de Documentos anteriores pero sigue sin reparar en el presumible afloramiento de arrecifes que aumentan las dificultades para la recuperación natural de los perfiles mediante el transporte transversal hacia costa, mientras favorecen, con la socavación inducida, la erosión mediante el transporte longitudinal. Su análisis climático, estacional, medio, y máximo sin embargo adolece de los mismos inconvenientes referidos en el Documento nº1. Aporta sin embargo dos importantes novedades: que la esperada recuperación natural tras el Gilberto se desinfla, y que la erosión de estas playas había conducido a perfiles “muy pendientes”. Y confirma lo ya establecido de que la erosión había empezado mucho antes del Gilberto; además de constatar el fracaso de las obras ensayadas durante la década de los 90 para protección contra la erosión y la evidencia del papel negativo de las edificaciones en la barrera litoral en el origen de los procesos erosivos.

- Respecto de la solución parece suponer suficiente la alimentación pero, en la determinación de su volumen, se fundamenta en algunas disquisiciones sobre anchuras de playa adecuadas que justifican una alimentación mucho menor que las del Informe final. En los Análisis anexos se discute este aspecto, pero lo relevante es: a) por una parte juega con alternativas de anchura en la playa seca inferiores a la que se maneja en el Informe final, b) como en éste, sin embargo, utiliza perfiles y conceptos de perfil de equilibrio que sitúan las estimas de sedimentos necesarios del lado de la inseguridad, de acuerdo con los criterios que se discuten en los Análisis anexos de los Documentos 1 y 3, c) las cuantificaciones de los transportes de sedimentos, sobre todo del paralelo, cuyas dificultades de análisis y crítica se discuten también detalladamente en los Análisis anexos de los Documentos citados, ofrecen una dispersión de valores elevada y algunos de ellos exceden en mucho a los manejados en el Informe final; aunque se trate siempre de transportes potenciales o

capacidades de transporte, señalan el riesgo de infravaloración de las pérdidas anuales por dicho transporte una vez realizada la alimentación y, a su vez, la relatividad con la que deben contemplarse este tipo de cuantificaciones.

**En conclusión,** se puede decir que desde los primeros estudios tras el huracán Gilberto se ha progresado mucho en el conocimiento de los procesos litorales frente a las playas de Cancún, sobre la naturaleza de sus erosiones y sobre las expectativas de recuperación natural, aunque todo puede ser mejorable. En todo caso, parece evidente que la recuperación natural no es posible y que los procesos erosivos proseguirán, afectando gravemente a las infraestructuras turísticas, cuya presencia resta posibilidades de recuperación y acentúa las posibilidades de erosión, tanto más cuanto más cerca se encuentren de la línea de costa, lo que hace que el proceso de deterioro se acentúe con el tiempo (difícil ya más tras el Iván reciente). Las obras de protección basadas en espigones / diques o en protección de ribera son, en sí mismos y sin alimentación de arenas, estériles y, en diferentes grados, pueden resultar incluso inconvenientes si mal ubicados, como ya ha sucedido. Sólo la alimentación con arena permite esperar una recuperación de la playa, de su función y de la atenuación de los procesos erosivos. El problema está en la cuantificación de las necesidades, por una parte, y en las condiciones de durabilidad de la alimentación, por otra.

Porque una parte del problema aún en discusión, o no bien estimado, es el grado en que la erosión ha afectado a la parte profunda del perfil transversal y las consecuencias que se derivan de ello: mayores volúmenes de arena necesarios y conveniencia de elementos de apoyo para los mismos. En nuestro criterio ambas son más importantes de las estimadas en los Estudios e Informes realizados hasta la fecha. Sólo el rechazo de los Servicios Medioambientales a su recurso permite y debe empujar hacia un proyecto ejecutivo de nueva aportación de arenas, como se ha contemplado en la MIA; pero ya se debe tomar conciencia de que el imprescindible monitoreo debe permitir establecer la necesidad de apoyos para ralentizar las pérdidas de sedimentos, algo que considero se evidenciará necesario, y para lo cual existen soluciones medioambientales positivas difíciles de percibir con los prejuicios actuales. Por todo lo cual se puede concluir:

1.- Es absolutamente necesaria la alimentación artificial de arenas y, por todas las razones, obvias, las de los bancos próximos son las más convenientes. Esta actuación, que restituye la situación medioambiental anterior sólo causa beneficios ambientales, sin riesgos si la ejecución se realiza con las precauciones adecuadas en la extracción. Precauciones que están bien establecidas en las recomendaciones de la CFE.

2.- Para las anchuras de playa pretendidas los volúmenes requeridos de arena son superiores a los estimados, aunque de la información consultada se puede presumir que los bancos seleccionados son suficientes para suministrarlo. Así como que éstos constituyen fuente adecuada para la alimentación de las playas.

3.- No obstante ello las pérdidas previsibles sin los adecuados apoyos para las arenas son superiores a las estimadas y la recuperación ambiental de la resiliencia de los fondos no permite frecuentes y reiterados dragados en los mismos lugares, por lo que esos apoyos se van a demostrar necesarios para unas condiciones de explotación y mantenimiento de las playas en sus dimensiones adecuadas desde los puntos de vista funcional y morfodinámico.

4.- La información ya obtenida es suficiente para un proyecto de ejecución, aunque pudieran perfeccionarse algunos datos sobre las capacidades potenciales del transporte y sus efectos en los perfiles transversales, así como la identificación y cuantificación de los posibles arrecifes relictos “aflorados” en los últimos tiempos; siempre que ello no signifique demoras en la aportación de arenas a las playas. Los riesgos de éstas son mucho mayores que la afección de los fondos que, por el contrario, experimentarán una mejoría tras el primer dragado a pesar de su afección geológica.

5- Los bancos seleccionados para la extracción de arenas reúnen las condiciones y todo indica que están bien evaluados. La preferencia que se da al de Megarizaduras puede que no sea tal, porque su profundidad roza el límite de lo admisible y pudieran detectarse impactos en las costas si se sobreexplota. Además se debe redefinir desplazándolo hacia el noroeste para evitar afectar a conducciones submarinas de luz y cable (y de agua?) que se encuentran dentro del paralelogramo acotado en el Informe. Ello conduce a dar preferencia al de la Ollita. El plano de notas es correcto y las demás precauciones señaladas muy adecuadas. El plano que figure en el CD último debe ser corregido al menos, en el paralelogramo del Banco 3.

## **II.2. ANALISIS DEL DOCUMENTO FINAL DE LA CFE, PRESENTANDO EL PROYECTO DE PRESERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA Z.F.M.T. ENTRE PUNTA CANCUN Y PUNTA NIZUC DE DICIEMBRE DE 2003.**

El documento analizado considera parte de los estudios anteriores de la CFE para FONATUR (Primera Etapa) y los realizados por la CFE (Segunda Etapa), más la información adicional que estimó oportuna para el mismo; y en ellos se parte de los daños causados por el Gilberto para el diagnóstico de la situación en el 2000 y para el análisis de la solución teórica del problema.

### II.2.1.- INFORME FINAL

Es evidente que ha recogido también los estudios anteriores de la UNAM y ha realizado otros nuevos que cita. Se ha percatado de algunas insuficiencias analíticas de los anteriores a 1999 y ha tratado de corregirlas, especialmente entre lo que se refiere al tratamiento y modelización del oleaje y de los procesos litorales. También de las imprecisiones en algunos datos topológicos que pudieran afectar a la analítica morfodinámica, y ha aprovechado para confirmar y completar información geofísica y geomorfológica. Propone una mera alimentación con arenas sin ningún tipo de apoyo ni abrigo.

La cubicación de 3M. de  $m^3$  se basa:

- a) en una plataforma a +2,5 m de cota (m s n m m) con 35 m de anchura. (Parece operar con el régimen extremal de sobreelevaciones combinadas de marea astronómica y marea meteorológica “normal”, puesto que se sabe que un valor razonable de la huracanada puede ser de 3.6 m (lo fue en Cancún bajo el Gilberto) y que se han llegado a rebasar en élla (también la del Gilberto) los 7 m en otros lugares no muy alejados de esta zona). Puede aceptarse, pero algún tipo de apoyo de pie podría hacerlo más válido y eficaz, y reducir el vaciado en caso de un nuevo evento de ese tipo, lo que se discutirá.
- b) Con un talud 10:1 en el resto de la playa seca (pendiente que denomina dinámica) que lleva hasta 60 m. la anchura de ese tramo de playa transversal. No veo la justificación en el Documento pero no parece desacertada, aunque en las áreas extremas debiera diferir bastante de la mayor parte del resto del tramo.
- c) Supone un perfil sumergido final “paralelo al actual hasta la profundidad que considera de “cierre” que parece establecer en los 5 m (fig. 3.1) bajo el 0, cerrando desde ahí con otro talud 10:1 (de acuerdo con el modelo B-Map del CERC); no es rechazable a priori la primera hipótesis pero la profundidad de cierre y el talud profundo son contrarios a la seguridad en mi opinión; lo primero se justifica en el análisis del Documento 4 y lo segundo me parece evidente de la observación de los perfiles sumergidos naturales. Otro problema deriva de la presencia de afloramientos rocosos que desvirtúan los perfiles.

La observación de las figuras 3.2 que acompañan al informe se compadece no muy bien con la situación tras el Iván, cuando la línea de costa desapareció delante de la de hoteles en importantes trechos. Este problema conduce a la necesidad de actualizar (como inmediatamente se hizo) y comparar los datos batimétricos y topográficos con los anteriores. No obstante sólo se encuentran en el CD las figuras 3.2 y 3.2.c, respectivamente de las zonas A y C (falta la de la zona B, y son las tres zonas en que se divide la playa). De las tres zonas se ven sin embargo transectos en 3.4. Pero

sólo se ven los perfiles de tres transectos, uno de cada zona. Son los perfiles comentados en otro lugar del Capítulo III y que indican:

- en la zona A (norte), aún se percibía en el año 2001 (de la batimetría de referencia) un escalón separando el estrán de la playa sumergida; escalón que corresponde y delata a la antigua barra del perfil transversal de equilibrio. Y la erosión “profunda”, patente desde los 320 m, aún no se ha extendido hasta hacer desaparecer el escalón.
- En la zona B (media) la barra aún parece insinuarse a los 120 m de distancia, con un estrán más potente y con 50 m. de playa seca, pero la erosión profunda se manifiesta en casi toda la playa sumergida, a partir de un afloramiento (arrecifal seguramente) a los 70 m de distancia y a 2,5 m bajo el nivel del mar de referencia.
- En la zona C no existe ya barra ni escalón, el perfil es de erosión y, más allá de los 400, se insinúa una erosión profunda aún mayor.
- Los perfiles trasladados no pueden corresponder a los de la playa regenerada porque ésta tratará de configurar su barra de equilibrio. Y el cierre en talud 10:1 a los 5 metros es habitual en los métodos para el cálculo de volúmenes, pero no tienen necesariamente correspondencia con la realidad.

Los de las figuras 5 dan a su vez perfiles más extensos y con más detalles, y de su observación merece anotarse:

- En la zona A (5.1) el primer perfil muestra los afloramientos rocosos entre los 100 y los 420 m. que le permiten apoyar el perfil residual de la parte alta de la playa, pero que le impiden su recuperación desde la parte baja del perfil. Y lo mismo se ve en el segundo perfil con el arrecife situado a los 390 m. El tercero tiene un afloramiento arrecifal próximo (150 m) que apoya el perfil alto manteniendo el “escalón” de la barra, pero por debajo del cual el perfil es de 1,5% de pendiente, casi homogénea y de difícil recuperación.
- En la zona B (5.2) los cuatro perfiles muestran el escalón entre los 100 y 150 m, apoyado en unos afloramientos muy erosionados y acusados entre los 180 m y los 420 m (según perfiles), y todos con una pendiente homogénea más allá del escalón cercana al 3%, como corresponde al perfil erosivo profundo que se indicó. Más al sur en la misma zona (5.2c) la situación se mantiene, con escalón creciente en potencia hacia el sur.
- En la zona C (5.3) los afloramientos rocosos/arrecifales se acentúan hacia Punta Nizuc desvirtuándose el significado del perfil. No parece una buena práctica el traslado simple de estos perfiles hasta la profundidad de cierre de Dean (aunque se aplique al perfil de Vellinga) para establecer los volúmenes de arena.

Es de temer entonces que no sea suficiente esa alimentación para la anchura buscada aunque la diferencia, desde luego, no será demasiado relevante a los efectos de la determinación de la necesidad y urgencia de la regeneración de las playas.

Las tres áreas en que divide el tramo son lógicas aunque las dos extremas hubieran debido ser más cortas. El análisis de las áreas fuente parece correcto y los propuestos al respecto plenamente consistentes. Ambos bancos contienen el mismo material que las playas.

El mayor problema lo encuentro en el análisis de la estimación de pérdidas anuales. Se prescinde del efecto de los posibles huracanes, que se podría incorporar mediante un análisis estadístico de éstos, y se opera con un perfil que encubre una extrapérdida, mayor al principio que después. Y se basa en un régimen de pérdidas, el posterior al Gilberto que no está claro que sea el posterior a una alimentación generalizada sólo por encima de una cierta cota. No está claro tampoco cuán desestabilizado e incompleto pudiera estar ya el perfil sumergido antes del Gilberto, y lo único que sí hay motivos para sospechar es que la erosión de todo el tramo se extiende hasta profundidades mayores de los 6 m, y de los 8 m, y que es una erosión profunda que se ha acrecentado desde el Gilberto, aun cuando su cuantificación y consecuencias requieran un análisis mucho más detallado; se volverá sobre el tema, aun cuando se hace ya evidente una fuerte regresión de la playa en el primer año tras la regeneración a causa de la búsqueda de un perfil de equilibrio del que carece y al que ahora, con su enorme déficit de sedimentos, no puede aspirar.

Por lo demás el resto de explicaciones del inciso 5.4 es coherente. Y el resto de la Memoria Resumen del Proyecto es inobjetable. En particular son de destacar las recomendaciones acerca del necesario seguimiento de la regeneración.

## **II.II.2.- DISCUSIÓN DEL ANEXO TÉCNICO**

Sobre la geofísica (1, punto primero del Anexo Técnico) de los bancos estudiados, sólo mostrar la aparente contradicción entre el primero y el último párrafos de las conclusiones a propósito de la Zona 3, Área Norte de Isla Mujeres aunque no se está seguro de haber encontrado propiamente todas las figuras y planos que se refieren en el texto. Tras la recogida de la información en Septiembre se han podido analizar los planos de geofísica (ver Capítulo IV); pero no la resuelven: los cinco primeros planos detallan las líneas y puntos del estudio geofísico en cinco zonas (Frente playero, Frente marino de Isla Mujeres, Área Norte de Isla Mujeres, Frente Marino de Isla Cantoy y Área Interna de Isla Mujeres –más tarde daría lugar a Megarrizaduras-) y el resto al conjunto de todas ellas. Los planos séptimo y octavo dan espesores o potencias de sedimentos en las zonas 1 y 2 respectivamente, donde se percibe que, en ambas zonas, éstos se encuentran en lentejones de reducida o moderada potencia y difícil aprovechamiento para extracciones importantes. Sin embargo el resto del estudio en este informe final se restringe a los bancos de Megarrizaduras y La Ollita, que fueron finalmente seleccionados, y cuyas investigaciones se detallan en otros planos, sin ser estrictamente, coincidentes sus zonas con ninguna de las aquí expuestas. Las razones por las que la documentación está así clasificada se me escapan, pero debe advertirse. No obstante debe también decirse que se trata de una investigación exhaustiva y rigurosa.

La investigación batimétrica y directa de los bancos (punto 2 y 3, del Anexo) aparece muy detallada; pero también se vuelve en ella sobre la exploración geofísica. Merced a ello se calibran mejor las investigaciones geofísicas iniciales y se seleccionan las 2 áreas, la de Megarrizaduras, que bien pudiera haberse acrecentado notablemente a partir del Gilberto, y la de la Ollita, que no deja de ser una de las varias posibles trampas de arenas de esta zona en su deriva hacia el Norte y hacia

mayores profundidades. Las rutas desde los bancos que se indican en los planos del Informe corresponden a estos dos bancos, y no a los demás, y el plano de Bancos que se analiza en detalle en el Anexo, corresponde a esos dos mismos bancos. La discusión del inciso, sin embargo, resulta prolija y parece haberse realizado por dos veces (personas) independientemente. Con todo se ha llegado a un conocimiento de los bancos suficiente y los seleccionados están suficientemente documentados. Sólo recordar la presencia de conducciones en el paralelogramo de extracción previsto del banco 3, Megarrizaduras, que obliga a redefinirlo para dejarlas fuera.

La investigación granulométrica (punto 4) es exhaustiva en los dos bancos seleccionados. Sobre todo en el primero, donde el muestreo puede considerarse exhaustivo. Véase el plano del muestreo del Banco 3 entre los del Anexo Técnico con las dos series de muestras, B y D. Este plano no recoge el cruce de conducciones a través del banco que, sin embargo, sí queda recogido en la carta náutica y que se ha comprobado en el reconocimiento de los fondos marinos para la MIA. La observación cuidadosa de las curvas granulométricas del banco de los Megarrizaduras abre muchas posibilidades interpretativas sobre el devenir de sus sedimentos, pero requieren un más minucioso análisis que excede este trabajo, a los efectos del conocimiento de los procesos y del contraste de los resultados de los modelos sobre el oleaje y el transporte.

Pero lo que aquí importa, su validez, debe ser objeto de llamada de atención porque no todas las muestras tienen el mismo valor para el trasvase y algunas pudieran no ser totalmente eficaces (las B.10 y B.14 tienen muchos gruesos, por ejemplo, lo mismo que a las B.26 y B.28, y otras como la B.36 y la B.70 o la B.72 son finas en exceso; la B.51 es de procedencia dudosa y no sería buena, y conviene investigar la elevada proporción de finos de las D.24, D.25 y D.26, D.35, D.36 y D.37, por ejemplo) aunque su validez está garantizada por su naturaleza. Las muestras de la Ollita (B<sub>4</sub>) parecen claramente mejores, con aspecto “litoral” más acentuado pero alguna, como la C.10, hace sospechar que puedan existir zonas con material más fino del deseable. Nada, no obstante, que invalide el material, sólo que debe tenerse en cuenta a los efectos de los volúmenes “eficaces”. El muestreo en este banco no ha sido sin embargo tan exhaustivo como en el Megarrizaduras. (ver plano Can. Banco 4 de los del Anexo Técnico en el que se ve la batimetría de la zona de la Ollita).

Lo más aparente de las muestras de Megarrizaduras (B) es su alto grado de “fluvialidad” (característica de corrientes persistentes y no alternantes y correspondiente más con el mero arrastre que con ciclos de suspensiones y depósitos). En un mismo gráfico la muestra B36 es litoral y además fina, con  $D_{50} = 0,18$  mm., y con sólo 3% de gruesos superiores a 1 mm. Y la B37 es fluvial con  $D_{50} = 0.50$  mm. y 20% de gruesos. Pero abundan las muestras con hasta el 35% de gruesos y valores de  $D_{50}$  hasta 0,65 mm. Sin duda las muestras presentan heterogeneidades, pero también que tienen más de dos tipologías distintas, todo lo cual permitiría hablar de diferentes tipos de áreas fuente y de procesos de mezcla, pero en última instancia compatibles con los transportes desde Cancún y con las erosiones de afloramientos rocosos de la zona simultánea o alternativamente. Las densidades son bajas para granos calcáreos y no tengo dudas de que se debe al método empleado, pero el peso específico de los granos ha de ser superior o tienen porosidades no explicitadas.

La petrografía también merece ser analizada en detalle en relación con las granulometrías y las posiciones relativas de las muestras. Alguna bimodalidad, indicadora de doble origen, procedencia o “historia” que se percibe en varias muestras de las Megarrizaduras, tiene correspondencia con los datos petrográficos, como por ejemplo en la muestra D.02 (cuya curva no está en el informe) o en las C.05-03. Parece ser mayor la bimodalidad en el Banco 3 que en el 4, quizás porque en el 3 hay

alimentación constante de los arrecifes de la zona al caudal migratorio, mientras a la Ollita llegan ya todos los sedimentos más homogeneizados por la longitud y el tiempo de transporte. No cabe duda, en esta primera aproximación analítica, de que todos los materiales sedimentarios están vinculados al karst de la zona, aunque algunos granos a través de un proceso biogénico más reciente, y que se podrían distinguir dos orígenes recientes adicionales: la erosión de los afloramientos arrecifales y el transporte litoral de restos anteriores. El estudio de detalle de todos estos análisis puede dar un gran juego en la investigación académica y científica de los procesos, porque son muchos los datos obtenidos, pero el realizarla excede la naturaleza y objetivos de este Dictamen e, incluso, de los propios trabajos.

En resumen, son datos que ayudan a perfeccionar el diagnóstico por la vía del contraste de los procesos litorales establecidos por otros medios, pero que requieren toda la información disponible (que excede sin duda la del Documento) y mucho tiempo de análisis. Pero no contradice su aplicabilidad al trasvase a las playas, sino todo lo contrario; porque en esencia muestran que o son materiales procedente de ellas o arrancados de los arrecifes locales, análogos -si no idénticos- a los que alimentaron las playas.

Las batimetrías junto con los espesores de sedimentos de los bancos se pueden ver en los planos del Anexo técnico, aunque en el reconocimiento de fondos de la Ollita parecen presentarse ridges o dunas sumergidas con espesores mayores que los indicados, de acuerdo con la relatada observación de los fondos para el reconocimiento previo a la MIA.

Las condiciones de transporte sólido para su evaluación se realizan mediante módulos del LITPACK, y debe hacerse observar que el desarrollo del Documento en este tema es poco riguroso, aunque en mi visita a la CFE he podido comprobar que está mejor fundamentado de lo que se desprende de su lectura:

- (No se ven en el Documento las series  $D_{50,\sigma}$  de las curvas, que se citan en pág. 77). Pero observando más detenidamente se puede ver que corresponde a las granulometrías practicadas sobre las muestras de las playas.
- (No se justifica por qué los perfiles 1 a 7 elegidos describen mejor la geometría transversal y la arena de la playa). Pero sin duda la proposición esta basada en una gran abundancia de perfiles analizados porque los han determinado, aunque no se encuentran en la documentación.
- (Explica los modelos pero no explica del todo el desarrollo de los datos y los resultados) Sin embargo no hay dudas sobre la corrección de su aplicación. Sólo se trata de constatar la imposibilidad de verificarlo en este Dictamen.
- (Explica bien la diferencia entre transporte real y potencial (8.85), pero ni se ve la conexión con el inciso 3.1, al que remite para las condiciones del transporte (pág. 81), ni queda justificado el descarte de los perfiles 1 a 7 empleados, cuando fija en 232,181 m<sup>3</sup>/año el transporte potencial de Sur a Norte en la sección 3). Verdaderamente se ha podido comprobar que este Informe sólo contiene el sumario de la aplicación, que está bien documentada en los archivos de la CFE. El perfil de playa 01, en Punta Cancún no recoge bien el tramo rocoso somero inicial pero es un perfil erosivo. El 02 delata hasta tres afloramientos en el perfil de erosión, a las cotas -5 m, -10.5 m, y -12 m; antes del último a -13 m. Los demás son de características intermedias, con un cierto apoyo entre los 14 y los 16 m. de profundidad.

- (La profundidad de cierre “identificada claramente” en la fig. 5.10 supone en mi opinión una petición de principio porque se encuentra entre las bases teóricas del modelo). Este es un problema común a todos los modelos que parten de un perfil de playa que no es el completo de equilibrio, como se explica en otro lugar de este Dictamen.
- (No se explicita la profundidad de presentación de los oleajes de las Tablas 5.1 y 5.2 que explica la relación y las diferencias entre las figuras 5.11 (transporte) y 5.14 (oleaje) en las páginas 87 y 99).
- Resulta un transporte transversal neto off-shore de 33.000 m<sup>3</sup>/año sin precisar la anchura de playa correspondiente, ni si es potencial o real. Desarrolla la formulación teórica para su cálculo pero no detalla la aplicación. No obstante se puede presumir correcta, sin olvidar que corresponde a un modelo de simulación. Su significación es sobre todo indicativa.

Por lo cual no se puede evaluar la partición de la playa total en los tres tramos señalados (1,2,3) cuando parecería que los extremos debieran ser más cortos que los establecidos. (La tabla 5.4 muestra una tasas de sedimentos cuyo significado queda incompleto. Pero que en todo caso sólo serán los reales a partir de la constitución del perfil de equilibrio, algo que requerirá retrocesos iniciales mayores de los previstos tras la alimentación). Pero como no hay razones para suponer errores ni inconsistencias en la aplicación del modelo y los resultados son razonables, se admiten los retrocesos futuros (tras la regeneración) de las playas en los tres sectores definidos, si bien se cuestiona que los de los sectores extremos (tablas 5.5) vayan a ser homogéneos. Sin embargo, tal y como está propuesto el programa, de modo que cada sector retrocede en función de “sus” pérdidas pero también de “sus” ganancias, resulta un mayor retroceso en 3, cerca de NIZUC, que en 1, cerca de CANCUN, sólo porque en este hay “ganancias” por el transporte neto desde el Sur que en el 3 junto a Nizuc, no se producen; pero la erosión en sí es mayor en el 1 que en el 3.

Por su parte las especificaciones técnicas, tanto particulares como generales contenidos en el Epígrafe 7 del Anexo, son oportunas aunque deberán desarrollarse más en el Proyecto ejecutivo. Hay que recordar que éstas habían sido más desarrolladas antes en la propuesta final de la tercera etapa, aunque allí se incluían obras de apoyo y de protección que ahora no se incluye.

### **II.3.- ANÁLISIS ANEXOS AL DEL INFORME BASADO EN LOS CUATRO ESTUDIOS PARA FONATUR Y OTROS SOBRE LAS PLAYAS DE CANCÚN.**

Se supo en Septiembre que son informes elaborados por la CFE para FONATUR en 2000/2001 a partir de los estudios de la UNAM en 1989-91 y otros, además de los desarrollados en esas fechas por la propia CFE. El primero y el segundo se encuentran en la Carpeta Recopilación, el tercero en la de Diagnóstico y el cuarto en la de Estudios Oceanográficos de la Carpeta de Documentos de la Primera Etapa. Los documentos no analizados en éste, se analizan en el Capítulo IV

#### **II.3.1 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO 1 SOBRE EL DE LA UNAM (1989-91).- ESTUDIO TEÓRICO DE LA RECUPERACIÓN DE LAS PLAYAS DE CANCÚN, Q Roo, CFE. 2000/01. (PRIMERA ETAPA).**

Existe un problema para la correcta comprensión del texto al tener diferente numeración los incisos en el índice y en el texto, y en éste y en sus referencias. Y al faltar algunas tablas y planos.

**En la Parte I** considera los factores oceanográficos en base al informe del Instituto de Ingeniería de UNAM para FONATUR (Ref.1 del Documento) y son inobjetable los procedimientos de cálculo que cita; sin embargo considera condiciones extremas del oleaje las correspondientes a los cinco huracanes que cita y que afectaron a esa zona desde 1961. Es esto discutible porque

- a) Supone que los huracanes constituyen una extremalidad de 2° orden respecto de otros oleajes, lo que puede darse por cierto.
- b) Supone que todos los huracanes han cursado análogamente sobre la zona de observación, lo que no es tan correcto.
- c) Pero matiza los resultados del análisis mediante su contraste con el tratamiento habitual de regímenes extremales.

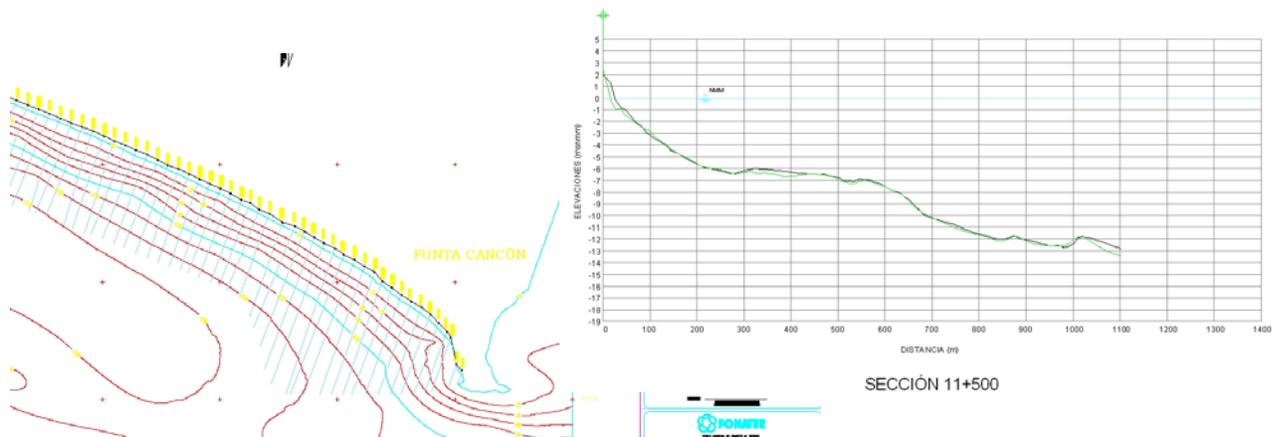
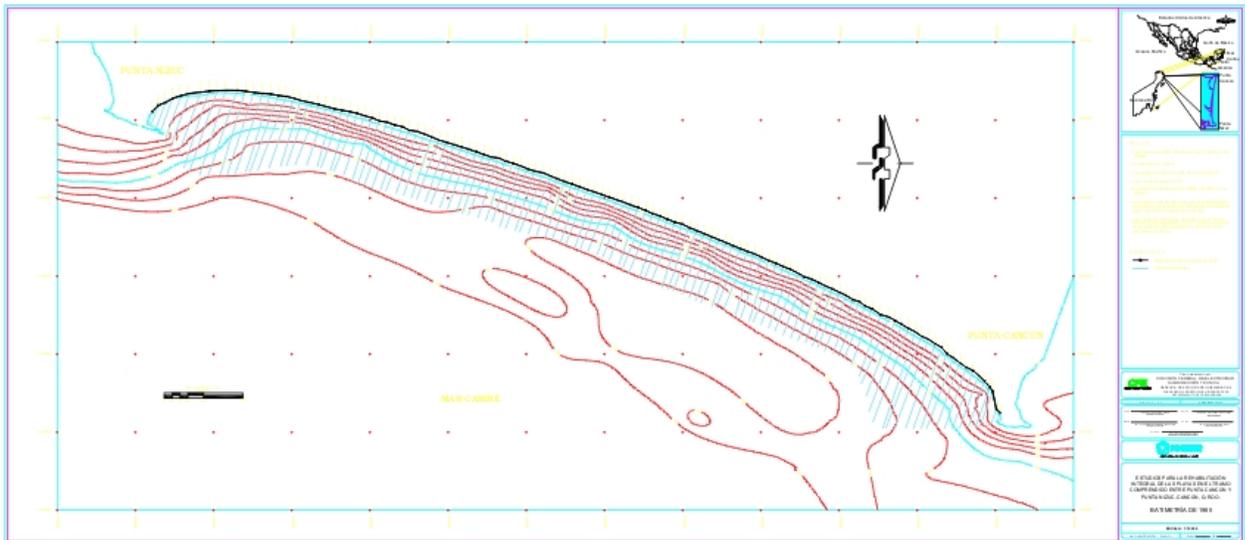
Por todo lo cual, y con las prevenciones correspondientes, no hay graves inconvenientes en asumir los resultados de ese análisis extremal del oleaje. (Hasta Octubre no se dispuso de las tablas 2.2.1 y 2.3.1, así como el Anexo: Tablas que se cita, que no se encuentran en el Documento, y ciertamente los valores extremos de  $H_s$  y  $T_s$  parecen algo excesivos en el método SMB). Pero el concepto de período de retorno resulta aquí ambiguo, puesto que no se refiere al del “huracán” en sí ni al del “huracán frente a Cancún” sino al de los efectos de cada huracán en la escala probabilística de oleajes en el punto de observación frente a Cancún. Con ser aceptables los comentarios del Análisis y de la Evaluación, no están fundamentados con rigor, sin embargo, y la comparación con los promedios da valor análogo al método del Huracán Standard (por defecto en el Gilberto y exceso en todos los demás) que al Estadístico (por exceso en el Gilberto y defecto en todos los demás), lo que no justifica adecuadamente.

Ningún comentario especial merece el análisis de las “condiciones ordinarias del oleaje (1.1.2), salvo constatar la dicotomía entre oleajes de componente NE (en torno al invierno) y SE (en torno

al verano) dentro de la dominancia E generalizada, que vuelve a mostrar la biestacionalidad del clima en estas latitudes (véanse comentarios en el análisis de los Doc. 3 y 4): lamentablemente no se recoge en el Documento la cuadrícula ni la información estadística de la que se recogieron los datos visuales del oleaje. Los oleajes medidos (1.1.4) muestran unos resultados coherentes con los vientos, con componente NE/SE en torno al invierno/verano. Pero no se aportan regímenes (distribuciones de probabilidad) de alturas de ola, ni en éstos ni en los visuales. Por lo que se pierde la opción a realizar una evaluación más atinada de los procesos. Estos cursan proporcionalmente a una potencia mayor o igual que dos de la altura de ola, y el oleaje medio del año medio es siempre menos efectivo en ellos que el régimen del oleaje en el año medio.

Fiable resulta la evaluación de las sobreelevaciones (1.1.3) por marea, aunque no se entiende qué relación y diferencias existen entre  $S_p$  y  $S_p'$ . Hemos de suponer que  $S_p$  es el ascenso registrado en Cancún y  $S_p'$  el máximo provocado en cualquier punto de la costa por cada episodio.

Tampoco se entiende por qué relaciona tan directamente el punto de observación en Yucatán con los “diferentes sitios de los EUA”, ni por qué asigna a esta variable la misma recurrencia que al oleaje. El valor de 3,6 m, correspondiente al Gilberto, resulta mucho más significativo que el de 2 m. para la sobreelevación meteorológica de cálculo, y es el recomendable. De hecho se ha podido confirmar que la CFE introdujo el valor de 3.5 m en sus modelos desde entonces.



**No existe Parte II** en el Documento analizado.

**La Parte III** (A y B) se refiere a la Refracción de los oleajes estudiados en los correspondientes documentos del Informe de la UNAM para FONATUR (Referencias 2 y 3 del Documento). Se hicieron con la batimetría de referencia anterior a la ocurrencia del Gilberto (1985) y también con batimetrías “ad hoc” del año 1989 y la metodología puede suscribirse. Las batimetrías que se han podido analizar en Octubre en los Planos de este Documento, la de la zona y la de detalle, explican muy bien las modificaciones del oleaje por refracción porque la plataforma y talud continentales se orientan mucho al SE-S frente a la playa, para recuperar la alineación NE y, más al norte, hacia el NW. Frente a la playa las isobatas van normalizándose por encima de los -25 m

Los resultados resumizados en el Documento sorprenden en principio porque muestran una refracción máxima para la incidencia NE, cuando debería esperarse para la S si sólo se mira a la línea de costa. Disponiendo de buenos planos de batimetrías como los que se encuentran en la carpeta de Planos y en otros documentos de los Estudios es posible valorarlo. Observadas las batimetrías próxima y profunda en mapas de la carpeta Planos queda explicado el comportamiento de las refracciones. Y su fuerte efecto sobre los oleajes del NE. En los archivos de la CFE dispone de los resultados de la refracción en video y son consistentes con las previsiones. La refracción que se muestra en uno de los planos para oleajes del E es significativa, pero no la más notoria.

**La parte IV** aborda la estimación del transporte litoral en paralelo a la costa (1.1.7) y transversal a ella (1.1.8). Además de las estimaciones para oleaje normal, que se exponen también en el Documento 3, que se analiza más adelante, y que utilizan los datos visuales e instrumentales de oleaje, realiza una estimación de transporte en las condiciones del Gilberto. Utiliza las formulaciones empíricas que se discuten también en el análisis del Documento 3 y que son generalmente aceptadas. Aparte lo que más adelante se debate, se puede observar que, en efecto, la “estación invernal” (en el sentido climatológico) genera transporte paralelo hacia el sur mientras la “veraniega” lo hace hacia el Norte, con un saldo neto hacia el Sur contra lo que parece –y es- en realidad. Pero el Gilberto (y eso depende de la trayectoria del huracán) generó un transporte significativo hacia el Norte. Aun siendo muy significativo dicho transporte, es cierto que no justifica, él sólo, toda la importante erosión que produjo, que debe atribuirse en gran medida al movimiento transversal. Este, sin embargo, no sólo redujo las arenas en la playa útil durante la acción del Gilberto sino que dejó el perfil de playa en condiciones de seguir perdiendo arenas por efecto del transporte paralelo durante mucho tiempo después, tal y como se discute al tratar el Documento 4. Resumiendo aquí, el estudio parece suficiente y de resultados demostrativos, pero su

transporte “ordinario” hacia el sur no es correcto. Es probable que la refracción no haya quedado bien modelizada. Nuevos datos y aplicaciones de modelos de estudios posteriores (3ª y 4ª Etapas) corrigen estos resultados.

Con la precaución obligada por la carencia inicial de los planos que se citan, pero que finalmente se han podido observar, y por la confusión general en las referencias en unos “incisos” respecto de otros. Hay que estar de acuerdo en que:

- a) ni los valores de transporte litoral paralelo calculados para las condiciones del Gilberto (1.1.7.1) ni los del transporte paralelo (1.1.8.1) bajo el mismo fenómeno permiten justificar las pérdidas determinadas en la Parte V de este Documento y que se cifran en  $700.000 \text{ m}^3$  para la acción del Gilberto.
- b) Tampoco los valores calculados para el año medio para el transporte paralelo ( $500.000 \text{ m}^3$ , valores netos) explican procesos de erosión como los que se producen, pero sí pudiera explicarlos el transporte neto transversal hacia el mar, que se cifra en  $1.000.000 \text{ m}^3$  aproximadamente, y cuya expresamente reconocida trascendencia creo que no se evalúa bien en el Documento, porque sí es significativo y puede sugerir la verdadera naturaleza de los procesos. Más adelante, con el análisis del Documento 3, se abunda en este punto.
- c) Los cálculos para un año concreto (1988-89) con las condiciones de oleaje medido (1.1.9) dan valores significativamente mayores tanto para el transporte paralelo ( $100.000\text{-}600.000 \text{ m}^3$ , dato que no valora adecuadamente el Documento) como para el transporte transversal ( $1.700.000 \text{ m}^3$ , pero hacia costa, algo aparentemente sorprendente y tampoco bien valorado). Que ese año, tras el Gilberto, ocurrieran anomalías pudiera derivar de la situación dejada por el huracán. Los transportes que se calculan son siempre “capacidades de transporte” o “transportes potenciales”, a expensas de las auténticas disponibilidades de materiales en las cotas adecuadas y lo que significan los datos es que, tras la desestabilización del huracán, el transporte paralelo sí fue capaz de desalojar sedimentos de la zona más profunda de la playa, mientras que no lo fue de recuperarlos el transporte transversal hacia la costa. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que el transporte paralelo verdaderamente significativo y eficiente en un tramo como el de Nizuc-Cancún no es el neto, sino el bruto (gross), porque en ambos sentidos, una vez rebasadas las puntas del tramo pero especialmente la de Cancún, existe alto riesgo de irrecuperabilidad de los sedimentos.
- d) La recuperación que el Documento indica es más apreciable en las zonas III y IV (tramo sur, hasta punta Nizuc) y, principalmente en “verano”, no parece bien expuesta; probablemente porque, si bien es lógico que se dé en esa estación climatológica preferentemente, durante la misma el transporte paralelo resulta dominante hacia el norte, lo que terminaría favoreciendo al tramo norte.

La batimetría, próxima y lejana, que justifica una refracción a favor de una evolución dextrógira en la mayor parte de los oleajes, sobre todo en mayores profundidades pero en todas, permite analizar mejor esta evaluación del documento; las fuertes pendientes y la

proximidad del talud continental, y sus diferentes a lo largo de la playa no pueden ser razones por las que los transportes transversales calculados muestren tal desequilibrio entre el ascenso de sedimentos por la playa sumergida en la mitad sur del tramo y el descenso en la mitad norte. Por lo que el papel de los afloramientos de arrecifes, sobre todo ahora que la playa está ya erosionada (desde antes del Gilberto), ha de considerarse relevante.

- e) Por lo demás las conclusiones contenidas en 1.1.10 sobre estos temas son razonables y fundadas.

**La parte V** del Documento recoge los estudios para la regeneración de las playas, principalmente la Referencia 5, del Instituto de Ingeniería de la UNAM para FONATUR.

Los análisis granulométricos son ilustrativos y, aparte las observaciones y evaluaciones que recoge el Documento, válidas salvo en lo que se refiere a las dunas, en mi criterio permite además otras:

- las densidades se mantienen porque los minerales son al 100% calcáreos.
- De Julio a Septiembre se observan variaciones significativas en los  $D_{50}$ , y no sólo en las batimetrías -1 y -3 en las zonas III y IV sino en la duna de la zona I. Se puede profundizar en el análisis de las mismas pero pueden estar relacionadas con a) el devenir de los meses de verano y la evolución del perfil de equilibrio en ellos, b) la alimentación desde arrecifes fracturados por la erosión, c) la reactivación o cambios en los vientos generadores de las dunas, y otros.
- Desde el punto de vista general todos los materiales son de la misma naturaleza y sus tamaños están más vinculados a su “historia” (téngase en cuenta que ésta conduce a su reducción por redisolución en el mar) que a ninguna diferencia en aquella.
- No tiene sentido referir  $D_{50}$  promedio sin una ponderación adecuada, que no consta haberse tenido en cuenta. (Pero este es un problema general a todos los métodos y formulaciones que requieren simplificar a un solo parámetro la caracterización de un factor del problema del transporte sólido litoral).
- De acuerdo con las granulometrías el transporte de sedimentos es de Sur (zona IV) a Norte (zona I) lo que debe matizar y corregir las conclusiones al respecto establecidas en el inciso sobre el transporte y conducir a una mejor aplicación del modelo.
- La forma de las curvas granulométricas, que es siempre ilustradora, no aparece en el documento y merecería exponerse. Estas curvas efectivamente aparecen en la Documentación de la primera etapa y se comentan en el Capítulo IV; y efectivamente se corresponden con otras del Informe final comentadas con él, y a ellos se puede uno remitir también.

El cálculo de los perfiles teóricos y reales (1.1.12) merece un análisis especial. El concepto que expone no lo comparto porque cada estado del mar tiene su perfil teórico, aunque éste sea en la práctica inalcanzable, de modo que los perfiles reales se aproximan siempre más o menos al teórico correspondiente al último estado del mar significativo y al correspondiente al último temporal reciente importante. Tampoco comparto ni el perfil de Swart ni el de Vellinga ni los que se detallan en el Documento 3 y que allí se analizan y discuten. Las condiciones externas de oleaje no rompen

el perfil de equilibrio sino que establecen otro diferente y ambos deben contemplarse para el estudio de la estabilidad de la playa. Por todo ello no se puede aceptar que con olas de 4 m sólo le afecta la playa hasta -2 m. El punto de Cornaglia (auténtico punto neutro) está siempre más lejano del doble de la altura de ola, esto es, llegará seguramente a los 8 m. o más para esas olas, y así en los demás oleajes. Sin embargo debe decirse que son perfiles generalmente adoptados en el mundo para la regeneración de playas, y que por tanto permiten una esquematización representativa de los fenómenos en términos relativos.

Parece razonable despreciar la marea astronómica, pero no puede prescindirse, para el análisis, no para la cubicación, de la marea meteorológica que ya se dijo que podía exceder los 3,6 m y que, durante su efecto, condiciona la acomodación del perfil. Me consta que esto se ha tenido en cuenta en las aplicaciones de los modelos en las etapas posteriores de los trabajos de la CFE, porque he estado observando y analizando en sus oficinas los resultados de esas aplicaciones.

Respecto de los perfiles reales no se puede emitir criterio sin verlos, y no están en el documento. (También están entre los documentos gráficos de la Carpeta de Planos en el CD recogido en Septiembre con los trabajos de la primera y la segunda etapas. Se abordan para su análisis en el Capítulo IV, pero puede concluirse que delatan una erosión en la parte profunda del perfil muy pronunciada, tanto más cuanto más al sur).

En todo caso, se debe discrepar de la definición que se da del perfil de equilibrio porque es incompleta; el equilibrio no puede considerarse para sólo un instante o un estado del mar, cuando éste evoluciona continuamente. El equilibrio de un perfil implica el de un estado y el de los sucesivos en una evolución normal. Pues bien, los perfiles (ver la topohidrografía de la misma etapa y el Capítulo IV) muestran claramente que no son perfiles de equilibrio, sino erosivos. A partir de ahí no valen los razonamientos que los consideran de equilibrio.

En consecuencia no se cuestiona tanto la determinación de los volúmenes a restituir (1.1.13) por su cubicación como por su funcionalidad, y es difícil formarse criterio para evaluarla sin ver los perfiles. Tampoco está el plano de las restituciones de la línea de playa. (Recibidas éstas, y los perfiles en el referido CD, apoyan la hipótesis de que los volúmenes necesarios son mayores que los estimados, por las razones ya expuestas sobre la forma del perfil de equilibrio y la profundidad de cierre real. Además se han de incrementar en los erosionados hasta el 2004, Octubre, tras el Ivan)

Debe quedar bien claro que, como muy bien dice el Documento analizado, la cuantía de la regeneración depende del estado final de la playa pretendido y ese estado lo determina una decisión política de entre los que cubran un mínimo, por lo que no es eso lo que aquí se cuestiona, ni si la anchura de playa fijada es la adecuada o no. Lo que aquí se discute es si las hipótesis dinámicas y geométricas conducen o no a la finalidad políticamente establecida. Pues bien, aunque no dispongo de la Referencia 5 y no se dice cómo se manejaron los perfiles aplicados a las diferentes anchuras determinadas, me temo un cierto déficit en el resultado en base a las consideraciones teóricas sobre el funcionamiento del perfil de equilibrio y sobre los perfiles tipo considerados que se discuten en el Documento 3. Adicionalmente, y este factor actúa en el mismo sentido anterior, los oleajes considerados son los normales y los extremos anuales (no huracanados) pueden requerir mayores volúmenes si la perturbación que producen del perfil llegare a hacerlo irreversible, algo que se puede sospechar de acuerdo con lo observado en el Documento 3.

La Tabla 8.1.1 muestra desde luego que el máximo de reducción de la playa seca se produjo en la mitad norte, pero convendría haber visto ver lo sucedido en el estrán y en la playa sumergida. A pesar de las apariencias de contradicción que estos datos tienen con el resultado de la aplicación del GENESIS en la tercera fase, en el que es la mitad sur del cordón playero la que soporta una mayor erosión y retroceso de la línea de costa, pudieran no ser contradictorios. La variación de anchura de duna es un dato complementario útil pero no se entiende bien el significado y situación de la línea de duna. Como consecuencia no se entienden bien los conceptos de la tabla que requieren un plano explicativo. Los anchos “perdido”, “original” y “actual” deben estar relacionados con el de invasión de duna de acuerdo a la ecuación: ancho de playa perdido + ancho de playa actual + ancho de invasión de duna = ancho de playa original, y no sucede así. En consecuencia no parece procedente tomar en consideración estas estimaciones.

Finalmente tampoco se entiende bien la restitución complementaria por cuanto si no corresponde con el perfil estable no será estable y si lo es no lo será el perfil de la restitución principal. Quizás todo se debe a que la Referencia 5 no haya quedado bien recogida en el Documento en sus conceptos fundamentales.

Sin embargo, las conclusiones y Recomendaciones de 1.1.14 pueden considerarse acertadas y plausibles. Y la mayor parte de los problemas anteriores han quedado revisados en documentos posteriores de la CFE, en particular el de la anchura de playa, estimada en base a la anterior a 1985 y comprobando que resulta suficiente para las ocupaciones previsibles con el actual desarrollo turístico planificado en Cancún.

El estudio de evolución de las playas que se esquematiza en **la Parte VI** del Documento muestra que se hizo un gran esfuerzo de investigación, y que sin duda hubo una recuperación natural de las playas hasta Diciembre de 1990 que debe verse corroborado por él. Tras la afección del huracán, más o menos sensiblemente, ha de haberse producido alguna recuperación. Pero no se ven bien los acuerdos entre los comentarios que se van desgranando en el Documento y los datos de las Tablas que se muestran de la Referencia 6. Ni en el “Análisis de los porcentajes de secciones...” de la Tabla 2.6, ni en el “Análisis de volúmenes totales unitarios...” de la tabla 2.7; y no existe la Tabla 2.8 de “espesores y velocidades media de...”, que se cita y comenta.

Tampoco se recogen en la Documentación las Tablas 3.1 a 3.5 de la Referencia 6 del Estudio que permitan valorar los movimientos de la línea de costa analizados en 1.1.16, pero parecen los típicos basculamientos propios de los diferentes oleajes reinantes y dominantes en torno al verano y en torno al invierno. Sin embargo hay una afirmación en su conclusión 2 que, de entenderse correctamente en su literalidad (“En general, se observó que entre Punta Cancún y Nizuc la tendencia de la playa es a la reducción de ancho”), y a pesar del contexto del resto de la conclusión, cuestionaría todo el análisis y todas las conclusiones anteriores sobre la recuperación natural de las playas y estaría más de acuerdo que ellos con los datos recogidos en las Tablas 2.6-2.7 mencionadas en el párrafo anterior. En todo caso la comparación de la línea de costa entre 1985 y 1989 indica el fuerte retroceso, causado sobre todo por el Gilberto, y se puede observar en otros planos de la Documentación posterior porque el de Recopilación no indica magnitudes ni fechas.

Verdaderamente es difícil discernir y vincular los conceptos que el Documento resume en los incisos 1.1.15 a 1.1.18 (1.6.1 a 1.6.4 del índice), por lo que fácilmente se pueden estar malinterpretando aquí. Y uno no es capaz de ver cómo las Tablas 5.5-5.7 se vinculan con los incisos anteriores, pero en los datos de la Tabla 5.5 sí se corresponde con las observaciones expuestas antes y que no se veían en la tabla 2.6.

De análoga manera se puede decir de los datos de la Tabla 5.6 respecto de los comentarios y conclusiones que no se percibían antes en la Tabla 2.7. Y quizás la Tabla 5.7 es la que se quiso mencionar en el Documento cuando se citó la Tabla 2.8. Se debe deducir pues, con los riesgos implícitos a la confusión de los datos de referencia en el Documento, que en efecto, aunque en la playa seca no es perceptible, al cuantificar volúmenes en base a perfiles transversales hasta una cierta profundidad (que no está explicitada), se puede observar la esperada recuperación de estas playas en los años siguientes a la brusca erosión causada por el huracán Gilberto. Que ésta recuperación no dejó de mostrar los efectos estacionales del clima marítimo (oleaje principalmente), y que en todo caso, la zona I, más que la II, y esta última son las de más lenta recuperación natural. Llegar más allá puede rozar lo especulativo dada la confusión de tablas y texto.

En todo caso, en relación con las discusiones anteriores, documentos posteriores de la CFE ya indican claramente, fundamentado en sus estudios adicionales, que la recuperación prevista en 1991 se frustró y que la regresión de las playas se siguió acentuando desde mediados de los noventa en forma inequívoca.

Es perfectamente admisible que 16 años constituyeran un lapso de tiempo necesario y suficiente para la recuperación de los efectos del huracán Gilberto, pero las conclusiones 4 y 5 de 1.1.19 no parecen consistentes. Adicionalmente, y eso parece manifestarse en otra parte de los estudios, hay un momento, tras la erosión neta del Gilberto, en que la recuperación natural de las playas pudo quedar dificultada, si no impedida, por el presumible afloramiento y presencia posterior de arrecifes de génesis no determinada que actuaran a modo de bordes impidiendo la recuperación del perfil.

**La Parte VII** se dedica al estudio de alternativas para la protección y recuperación sobre la base de que fueran necesarios diques exentos, de abrigo y/o contención de arenas, que se diseñan sumergidos (en mi opinión lo son, si se pretende una durabilidad óptima de la alimentación). La solución actual no parece contemplarlas y, a los efectos del diagnóstico de la situación, no parece esta parte contener ningún dato relevante puesto que se restringe al diseño estructural de las obras. Parece evidente, sin embargo, que estas obras pueden servir para reducir las pérdidas por la erosión y el transporte paralelos, pero también para reducir el aporte natural transversal, e incluso impedirlo, salvo por la “aberturas”. Son pues obras para después de la regeneración y que impidan que ésta se produzca naturalmente. En todo caso no es procedente un mayor análisis de esta Parte, que puede ser fuente de comprensión pero no de cálculo para el proyecto.

**La Parte VIII** explica la naturaleza y autores del modelo empleado, perfectamente aceptable pero irrelevante para el diagnóstico, por lo que tampoco se entra ahora en el tema. No es necesaria para el proyecto y no afecta a este Dictamen

**Y las Conclusiones** generales son perfectamente válidas pero poco operativas:

- a) Que la regeneración puede hacerse con o sin obras complementarias de protección y que mejor sería disponer de más tiempo para su seguimiento (ya se ha dispuesto de 13 años más desde entonces. Las obras son necesarias para la solución óptima, pero la alimentación lo es más y su urgencia no admite demoras; posteriormente se puede avanzar en el estudio y decisión sobre las obras).
- b) Que hay infraestructuras de protección que no compensan porque es más rentable reincidir en la alimentación (económicamente es válido pero 14 años después se sufre que las consideraciones ambientales y ecológicas modifican totalmente las condiciones de contorno del problema).
- c) Y sin embargo no percibe que una cuestión es la protección o abrigo frente al oleaje, cada vez menos aceptado ambientalmente, sin suficiente motivo para ello muchas veces, y otra la contención de sedimentos, cada vez más necesaria y aceptada como tal.

### **II.3.2 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO N° 2: SOBRE EL “DIAGNOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE DIVERSAS OBRAS DE RECUPERACIÓN EN EL FRENTE PLAYERO DE PUNTA CANCÚN-PUNTA NIZUC”. (JUNIO DE 1999. Ref. 10)**

Este Documento figura como Capítulo 2 del Informe de Recopilación de la Primera Etapa y hay en éste tres Capítulos más, sobre tablas de Marea (1999), vuelo Fotogramétrico del año 1984 e Información adicional, que también se revisan aquí.

La ref. 10 es el estudio de G.S., Ingeniería Integral, para FONATUR. Y que se realizó en 1999 cuando ya fue evidente que la regeneración natural o era insuficiente, o no era, y que ciertos espigones transversales eran inoperantes (como no puede ser de otro modo al no haber transporte de sedimentos que interceptar), y de otros diques exentos. Este diagnóstico dice haber consultado los estudios de la UNAM que forman las referencias en que se basa el Documento 1 ya analizado, y las memorias de cálculo de los proyectos de los diques exentos. Se basan en un inventario de obras (espigones y diques exentos) realizados con geotextiles entre 1996 y 1999 y de resultado “poco satisfactorio”.

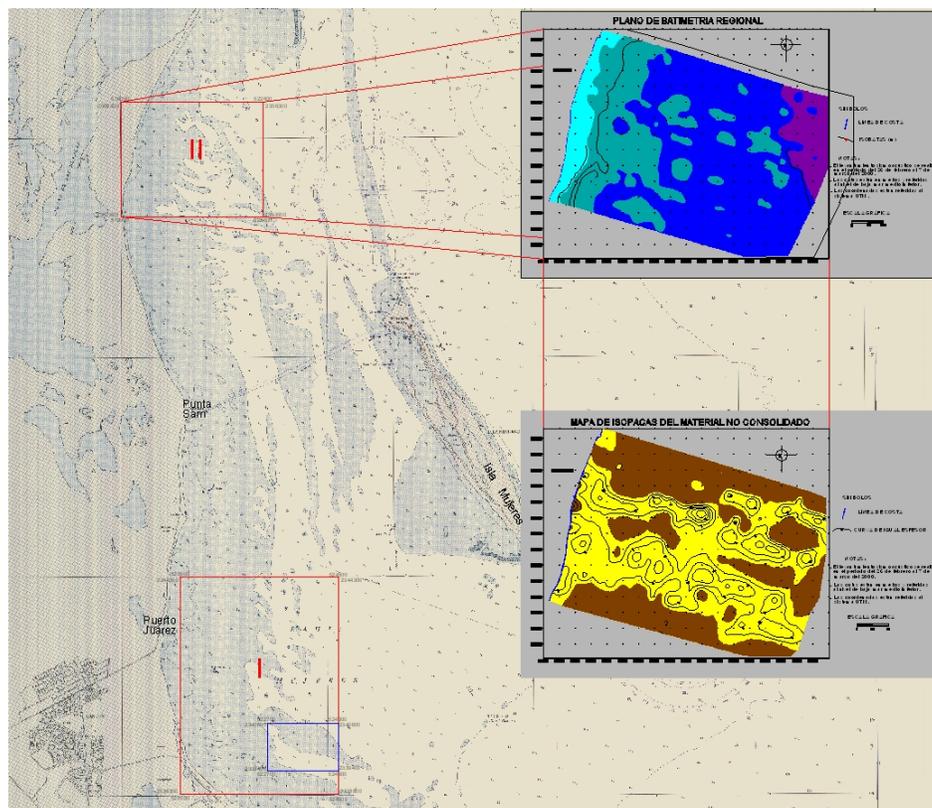
El grupo 1° formaba a modo de arrecifes artificiales verticales de entre 115 m y 195 m de la costa con coronación a “nivel de bajamar media” y tapete antisocavación también en geotextil. La observación mostró deterioro de las estructuras pero sin socavación por lo que el control de erosión se aceptó como parcial. El grupo 2, en otro punto de la playa, que no contribuyó tanto al control y sí sufrió socavaciones, estaba a distancias mucho menor de la costa (entre 40 y 135 m), parece haber sufrido más daños que el primero. Los estudios económicos de comparación no afectan a esta discusión.

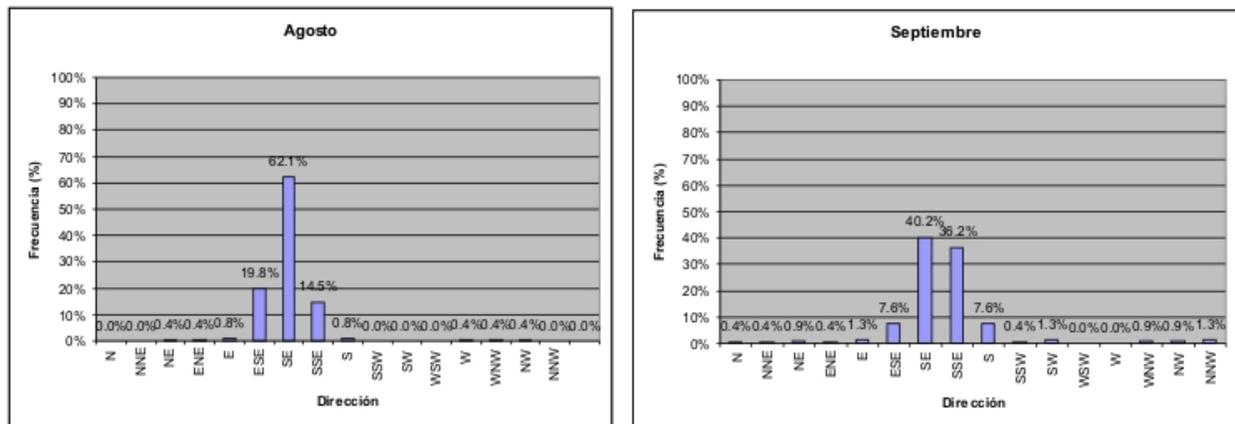
Se sigue el referido Informe de Recopilación en Capítulos sucesivos de unos datos de interés sobre la marea astronómica en este tramo de costa y de información sobre la toma de datos batimétricos y de oleaje pero sin elementos de análisis. Cuando se pudo disponer del Anexo de tablas estos Capítulos tuvieron un mayor significado, y permitieron los comentarios que siguen.

Las tablas de Predicción de Mareas de 1997-98 referidas en el Capítulo 3 remiten al citado Anexo de tablas que no se recibió inicialmente, y da unos valores de la masa astronómica coherentes y verosímiles (entre -13 y +13 cm, valores observados, media 0.10, cero del punto, 0.00). En el Capítulo 5 de Información adicional desarrolla brevemente un epígrafe 5.3 con referencia a las tablas de marea del 2000 (en Punta Morelos). Además recaba datos de dos fuentes ajenas, de las cuales establece un nivel medio del mar en casi 10 cm con niveles medios inferior y superior de 0 y 20 cm aproximadamente, y con valores mínimo y máximo (calculados, esto es, límites de la máxima carrera de marea con meteorología normal) de -30 cm y +40 cm (Dirección General de Oceanografía Naval) y de -10 cm y +30 cm (CICESE), con similares efectos de las altas presiones que de las bajas, como corresponde a una zona con prevalencia de altas presiones. Obviamente no incorporan los efectos de los huracanes, los datos de ninguna de las dos fuentes y las diferencias derivan de las de los bancos de datos respectivos, siendo irrelevantes. En Punta Juárez los valores son algo menores pero la asimetría favorece las pleamares, en lo que inciden sin duda la Bahía y la Isla Mujeres. Con un año de observación las determinaciones son siempre válidas; en este caso la marea astronómica es muy poco relevante y, aunque Punta Morelos es mejor lugar que la laguna aun estando más distante, cualquiera de los resultados vale. Lo importante es la marea meteorologica, que ya se validó en 3.6 m., para el huracán Gilberto.

El Vuelo Fotogramétrico a que se refiere el Capítulo 4 se hizo en 1984 y permitió el levantamiento de la línea de costa de 1985 que ofrece en el Anexo Planos, carpeta “Recopilación Planos”. En el Capítulo 5 también refiere (5.1) la necesidad de obtención de batimetrías posteriores a 1988. Y menciona y adjunta la Carta de “Isla Mujeres, Cancún and Approaches” de 1996 (USA). En esa carpeta figura también la batimetría de 1989 referida ya, y que se volverá a referir más adelante. Pero no existen datos de comparación entre ellas.

En el Anexo o Tablas figuran datos como los coeficientes de Refracción ( $k_r$ ) y de Asomeramiento ( $k_s$ ) las características del oleaje ciclónico (de huracanes) en la batimetría -10 y en rotura y después de la rotura, pudiéndose observar que con el periodo de retorno aumenta la sobre elevación meteorológica y, consecuentemente, las alturas antes, en y tras la rotura. También se determinan en el caso de abrigo mediante dique rompeolas. Son datos válidos salvo en lo que se refieren al período de retorno, como se justificó en otro lugar.





### II.3.3 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO 3.- DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL. (De la CFE para FONATUR-2001). (PRIMERA ETAPA)

Este Documento es el Informe de Diagnóstico elaborado por la CFE en la primera etapa también, pero esto se supo cuando se dispuso de la Carpeta completa de la misma, en Septiembre. Además de parte de las referencias utilizadas por el Informe de Recopilación ha utilizado los estudios en marcha de la CFE para la SEMARNAP (1° y 2° Informes) en el año 2000 y otro trabajo de maestría de la UNAM sobre evolución de líneas de playa del mismo año, 10 años después de los primeros. Desafortunadamente se analizó inicialmente sin contar con la información gráfica anexa. El Documento está en la Carpeta Documentos de la Primera etapa de estudios de la CFE, en la que a su vez también hay una Carpeta con dos Figuras correspondientes. En la Carpeta Planos aparecen las batimetrías de 1985 y 1989 y la línea de costa de ambas y del 2000.

Ante todo se deben advertir las limitaciones para este análisis derivadas de la ausencia, en la copia recibida de este Documento, de las figuras 3.6.1 a 3.6.5, citadas en su página 16, y de los planos 1-3, citados en la pág. 3 y en otras, y que se reclamaron ya en Marzo. El retraso en este análisis ha sido motivado, en cierto modo, por la espera por los mismos. Lamentablemente tampoco se han encontrado esas figuras en el resto de la Documentación recibida después.

Se debe resaltar además el desorden, u orden críptico, de la enumeración de los distintos incisos o epígrafes, que resta capacidad de comprensión sobre la línea de razonamiento del autor o autores de este Documento-Diagnóstico. La inclusión de la serie (1.j) entre la serie (1.1.i) confunde al lector sobre la intención expositiva del documento. Finalmente se ha supuesto que los dos dígitos indican temas distintos dentro de una ordenación general con tres dígitos.

#### II.3.3.1.- CUESTION PREVIA

Probablemente el problema de estas playas estaba ya muy avanzado cuando el Gilberto produjo el vaciado (obsérvese que desde el mismo epígrafe de antecedentes así se reconoce) de sus arenas “finas” (más bien medias, en una clasificación ortodoxa) habiéndose desarrollado durante cierto tiempo una erosión de la parte sumergida de los perfiles. No se han visto perfiles transversales anteriores a 1988, pero se pueden

estimar los anteriores a 1985, y se puede aventurar que la barra o las barras móviles, que pudieran ser perceptibles algún tiempo antes, ya habían empezado a desaparecer en grandes tramos de este frente playero antes de 1985. Esa erosión habría cursado mediante el transporte longitudinal principalmente, y habría conducido al afloramiento de una barra relictiva, de la misma naturaleza mineralógica que las móviles pero cementada en alguna fase anterior del holoceno o del pleistoceno reciente. La observación, posterior a la visita a México, de las batimetrías de 1985 y 1989 confirman este modo de interpretar los procesos.

Así, habría ya un “perfil de erosión” (casi monoparabólico, salvo por la singularidad producida por los citados arrecifes en afloramiento configurando una formación más o menos continua en sentido longitudinal) que sufrió un golpe de extracción de arenas de la parte de la playa por encima de los arrecifes, causado por el Gilberto, en forma principalmente de transporte transversal. El propio sistema de arrecifes paralelos impidió después la esperada regeneración natural. La hipotética obtención de entre 5 y 7 perfiles transversales desde antes de 1980 (mejor, desde el principio del desarrollo turístico) y en varios momentos hasta el 2000, y su comparación evolutiva, podría confirmarlo sin mayor discusión. Ahora veamos lo que dice el Documento.

### **II.3.3.2.- CRÍTICA GENERAL**

En los epígrafes 1.1 y 1.2 (1.1.1 a 1.1.3) el Documento presenta unas referencias bastante extensas a las investigaciones batimétricas entrando en los detalles del tratamiento de la información y de la obtención de datos en tres momentos referenciales muy significativos: antes del huracán Gilberto (1985), después de él (1989) y en un momento un tiempo posterior (2000), cuando había sido previsible una recuperación natural y cuando ya era evidente sin embargo la irreversibilidad de los procesos. Sin entrar en los detalles puede considerarse rigurosa la metodología, tanto para obtener sondas “actuales” como para rescatar batimetrías precedentes; y sus comparaciones realizadas 1.3 (1.1.4 a 1.1.6) deben considerarse válidas; se verá sin embargo que de ellas se pueden deducir conclusiones más allá de las establecidas en el documento. La ausencia de los planos citados al principio de este Análisis resta con toda capacidad de diagnóstico y de crítica a este Dictamen e impide concretar más las conclusiones adicionales.

Recibidas las batimetrías merece observarse en la de 1985 un gran cuenco en los dos tercios norte de la playa, entre los 500 y 1000 metros de distancia a la línea de costa aproximadamente, y que delataría una erosión “profunda” ya en marcha. Más allá aparecen los arrecifes, aunque la batimetría no es tan de detalle para asegurarlo. En la de 1989 este hecho se refuerza con unos contornos batimétricos más allá de los 500 m claramente delatores del afloramiento de arrecifes, aunque el cuenco se reduce de dimensiones al haber recibido arenas de la playa. Las cubicaciones determinadas en la tabla 3.1 se basan en unas especulaciones sobre anchos de playa superadas en documentos posteriores por lo que se pueden desechar. Pero la evolución de la línea de costa de la tabla 3.2 tiene interés. Sólo avanzó en los extremos entre 1985 y 1989, y más por el efecto abrigo de ambas puntas que por el de apoyo en ambos casos, sin duda. De entonces al 2000 el retroceso es general (Tabla 3.3) excepto en un tramo junto a Cancún que recibe el transporte longitudinal del resto de la playa, y de donde sale éste, en régimen casi continuo, hacia Bahía Mujeres por delante y a través de la Punta Cancún (hoy fotografías aéreas y de satélite que lo muestran y el CD de Corrientes de Oleaje de la CFE lo ilustra).

Las estimaciones del Transporte del epígrafe 1.4 (1.1.7 y 1.1.8) siguen una metodología admisible y se basan en modelizaciones aceptadas generalmente por lo que se pueden dar por correctas con las matizaciones que derivan de la crítica al tratamiento del clima de oleaje del Documento 4, en cuanto a las estaciones y a las oblicuidades relativas a la línea base. Una más precisa determinación que pudiera permitir valorar la correlación entre los puntos de estima del transporte, los de determinación de los perfiles transversales y los de determinación de la oblicuidad del oleaje en ese Documento hubiera sido de desear; y aún podría hacerse a partir de las informaciones contenidas en sus referencias originales, probablemente, ya que se tiene constancia en la visita a la CFE en Septiembre del rigor de los trabajos y de la información allí conservada.

El epígrafe 1.5 es puramente declaratorio y no aporta nada relevante que pueda ser tenido en cuenta ni en el resto del propio Documento ni en este análisis. Efectivamente su declaración está deducida de las tablas y planos referidos en el inciso 1.3 anterior y es cierta.

El epígrafe 1.6 determina los volúmenes de arena para restaurar hasta ciertos límites la playa del tramo considerado. Aplica un modelo generalmente aceptado pero incurre en un perfil de referencia (creo que es el de Vellinga) que no es el de las playas naturales, en nuestro criterio. Su utilidad en el cálculo de volúmenes de proyecto no se va a discutir; pero sí su significación para el diagnóstico y el comportamiento posterior. Y son dos problemas muy diferentes. No es éste el momento, pero digamos que, para el diagnóstico, el perfil de referencia debe ser el de una playa de perfil completo y próxima a su equilibrio de estabilidad. Probablemente ya no era estable esta playa en 1985, como tampoco la mayoría de las playas de la costa Este Americana que sirvieron de base para los perfiles teóricos que se citan en el Documento (en el inciso 1.7). Sin embargo para la estima de volúmenes es irrelevante el perfil y éste está bien contrastado; sólo saber que parte del volumen se traslada a construir el perfil de equilibrio y no a aumentar la anchura de playa. En todo caso, incluso con el perfil empleado, basta llegar a la probable profundidad de cierre regular real (8m. o más) para encontrarnos con pérdidas superiores a los 3.5 m. de  $m^3$  Y para la profundidad de cierre “ciclónica” (mayor de 16 m.) encontramos unas pérdidas (mucho) mayores que 4.7 m de  $m^3$  (véase la tabla 1.6).

Debe aceptarse sin embargo que una alimentación así realizada con ese perfil de referencia, no es garantía de estabilidad (y éxito) finales, porque será basada en un diagnóstico impropio. Todo lo cual es de aplicación también al epígrafe 1.7, complemento necesario para el 1.6. No es de extrañar que la discusión más fuerte de este documento se refiere al epígrafe 1.8, de la comparación, de cuya crítica derivan algunos reparos, pero también algunas conclusiones que van más allá de las contenidas en el epígrafe 1.9. La comparación final del epígrafe 1.8 (1.1.9 y 1.1.10) viene afectada por los epígrafes anteriores por lo que se analiza después, ya en el epígrafe siguiente.

### **II.3.3.3.- CRÍTICA PORMENORIZADA**

En los primeros epígrafes se estima “considerable” una anchura de playa de 20-30m (los de 1985) aunque parece que esa anchura ya era entonces insuficiente. Y ese dato no se compadece además bien con los de la tabla 3.1 (la situación original requiere 854.3  $m \cdot m^3$  y un ancho de 30 m requiere sólo 714.9  $m \cdot m^3$ ). Este es un punto que ya no se vuelve a aclarar en el Documento y que es clave: definir la anchura de playa seca mínima requerida, porque no cualquier anchura es viable con los mismos medios de alimentación y contención. Posiblemente esta cuestión ha quedado superada como se dijo en el epígrafe anterior. En

documentos posteriores se opta finalmente por una anchura total de sesenta metros, que resulta suficiente para la ocupación previsible en función del desarrollo turístico planificado en Cancún, y que resultan de establecer una plataforma seca de 35 m, determinada en base a la playa existente antes del Gilberto, y que resultaba suficiente, y 25 m de talud seco, para respuesta al equilibrio dinámico frente a los oleajes y temporales (Comunicación verbal en la CFE).

De los estudios batimétricos es de destacar la conclusión del Documento sobre que la erosión se produjo por transporte transversal, aunque no se indica suficientemente el papel que los afloramientos arrecifales longitudinales han podido tener en impedir la recuperación (transporte hacia costa) durante los oleajes reinantes, sin dejar de permitir la extracción con los regímenes “ciclónicos” (huracanes) y, probablemente, con otros muchos ciclónicos estrictos de cierta entidad.

En otro punto posterior destaca el papel de la sobreelevación ciclónica en este comportamiento asimétrico del transporte transversal. También se exponen elementos para deducir que este transporte transversal hacia fuera ya se estaba dando antes del Gilberto, aunque creo que no se aborda suficientemente la consecuencia de ello en la pérdida de las barras móviles y en la acentuación y profundización de la curva única cóncava a la que tiende el perfil transversal en estos procesos de erosión, lo que hemos definido como “erosión profunda”. Este proceso se había sin duda iniciado ya antes de 1988 y se siguió acentuando después del Gilberto; ahora está presumiblemente agudizado por los propios afloramientos arrecifales (que posiblemente estén a su vez en reducción en un proceso -más lento- de erosión mecánica y físico-química).

Para mejorar este análisis que ratifica las conclusiones del Documento en estos epígrafes y posteriores, en la medida expuesta, es para lo que sería necesario obtener la evolución comparada ya mencionada de entre 7 y 12 perfiles transversales a lo largo del tramo entre las puntas Nizuc y Cancún (Por ejemplo, los 7 que se señalan en el propio Documento final).

Respecto de las anchuras de la playa seca parece evidenciarse que antes de 1985 habían sido superiores a los 40 m. que se toman como referencia máxima u óptima en la tabla 3.1, puesto que 30 metros no es una demasiado buena anchura de playa para una explotación del alcance turístico de la del tramo Cancún-Nizuc. Y ello hace suponer que la “erosión profunda” ya había trascendido a la superficie llevando la línea de costa hacia atrás seguramente más de una decena de metros desde ya una década antes. Eso quedaría explicado por las consecuencias de la ocupación intensiva y muy próxima a esa línea por el desarrollo turístico. Y por ello la propuesta (de la UNAM) de recuperar hasta 40 m. de playa seca no se debería sólo a razones estéticas sino a funcionales -turísticas y medio ambientales- y contradiría la limitada propuesta de los 20-30 m. de la pág. 3 del Documento analizado. (La anchura propuesta finalmente en documentos posteriores en la tercera y cuarta fases, de 60 m, con 35 mínimos de plataforma sin talud parece un reconocimiento de este criterio)

Adicionalmente, y en contrapartida, la previsión de que en 16 años se recuperaría la playa tras el Gilberto no parece suficientemente fundada; más bien era previsible que no se consiguiera nunca, en presencia de los afloramientos y con fugas longitudinales evidentes por delante de P. Cancún, sin una ayuda artificial previa. La acreción posible aparece sólo, y en 1989, en los extremos (tabla 3.2) y se debe sin duda a la función de apoyo o de abrigo de las dos puntas rocosas, en un momento de transporte longitudinal intenso como fue el del paso del huracán. (En el Documento final se señalan las zonas de retroceso importante de

la línea de costa posteriormente a la acción del Gilberto y en otro documento de la CFE se emite el mismo juicio sobre el fracaso en las predicciones de recuperación natural de la playa realizados en 1991).

Pero la tabla 3.3 delata que esa primera acreción ciclónica se detiene en el régimen posterior, cuando el transporte longitudinal se reduce y el transversal se mantiene en todo el tramo: los Nordeste reinantes vacían NIZUC y los Surestes CANCUN, también mediante el transporte transversal. En NIZUC se perdió hasta el 2000 todo lo ganado en 1988 y en Cancún  $\frac{2}{3}$  más de lo ganado en 1988. De ambas pérdidas deben responsabilizarse a los arrecifes relictos del lado del mar (que dificultan la recuperación) y a los edificios del lado de tierra (por su efecto pantalla y la interceptación de los vientos de poniente), pero también, y sobre todo, a la realidad de un perfil erosivo. A este respecto se debe hacer constar que las tablas 3.3 y 3.4 no se compadecen bien entre sí por lo que habría que revisar sus fuentes.

La constatación de que las obras aisladas de protección no tuvieron éxito (ver Capítulo anterior y el propio Documento de Informe de Recopilación) y de que la erosión continuó hasta el 2000 muestra bien a las claras que la erosión de la playa cruzó el umbral de reversibilidad natural antes o durante el Gilberto, que ya existe y existía una erosión profunda determinante, que los arrecifes no permiten la estabilidad ni la recuperación mientras estén aflorados y que las obras y construcciones a lo largo de la costa han sido las auténticas responsables de la degradación acentuada de toda esta playa.

El Transporte de sedimentos paralelo a la costa no se puede discutir aquí bien porque los tramos que se destacan no aparecen reseñados en planos y no es seguro que las estaciones que refiere se correspondan con los límites de los tramos I, II, III y IV. Tampoco se dice el significado y el método de determinación de los promedios (netos anuales) que se refieren en las tablas con cada una de las fórmulas del transporte. Por otra parte ya se indica en el análisis del Documento 4 que la partición estacional empleada no es verdaderamente significativa al carecer de un fundamento climático real, aunque los resultados negativos (hacia el sur) en invierno y positivos (hacia el Norte) en verano son consistentes con nuestras estimaciones; los valores netos anuales totales son más verosímiles que los promedios, y los más verosímiles de entre los obtenidos por las diferentes formulaciones son los correspondientes a las fórmulas C.F.E. y P.M.; por otra parte los obtenidos de los datos del oleaje del O.W.S. lo son más que los de oleaje medido, lo que cuestiona el lugar y el método de medida, algo por lo demás muy frecuente en este tipo de estudios, o, simplemente, deja en evidencia que un año concreto no tiene por qué coincidir con el año medio. En todo caso los valores netos destacados ( $\approx -30.000, -60.000 m^3/\text{año}$ ) son verosímiles y se compadecen bien con la morfología de la costa con el “apoyo” de la punta Cancún y con el “abrigo” de la punta Nizuc. Seguramente no diferirán mucho de los correspondientes al Oleaje Resultante Medio Anual que se menciona en el Análisis del Documento N° 4 de este Dictamen más adelante. Pueden darse por tanto por válidos estos valores, porque la cuantificación exacta sólo sirve para playas sobrealimentadas, que no es el caso, y aquí sólo se está en fase de diagnóstico.

El Transporte normal a la costa que se refleja en la tabla 3.6 y que se refiere al Gilberto no se entiende bien, aunque creo que se da poca importancia al que causan los oleajes del régimen medio y del régimen extremal sin contar los huracanes. Los  $130.000 m^3$  no justifican la erosión determinada en el epígrafe anterior del Documento, por otra parte. Con todo, las deducciones relacionadas en las pág. 11 y 12 del epígrafe 1.1.8 son suscribibles. No sé cómo calcula el paso desde los  $130.000 m^3$  del Gilberto a los  $1.700.000 m^3$  de transporte anual normal a la costa, pero se debe destacar el reconocimiento del efecto del

aumento del nivel del mar y, sobre todo, el reconocimiento en el punto 6° de la extracción normal de arena hasta la batimétrica de -15 m., que contradice el valor, y el concepto, de la profundidad de cierre que se emplea en los incisos 1.6 y 1.7 y que ya se ha criticado en el epígrafe 2 de este análisis. Es por ello que maneja profundidades de cierre muy inferiores a los 15 m., y que no puede parecer suficiente una alimentación que encaje el perfil transversal hasta sólo la cota -3 m. Por otra parte se está determinando transporte potencial o capacidad de transporte, lo mismo que en lo referido en el párrafo anterior. De ahí que no se puede pretender coherencia numérica entre los valores de transporte y los de erosión determinados por comparaciones batimétricas.

Los datos del cuadro de la pág.13 señalan que el movimiento transversal llega más allá de la cota -12 y que, una vez alejados, el discurrir de los sedimentos puede aún derivar, con el transporte paralelo, hacia profundidades mayores, de donde es ya irrecuperable. Por todo ello la estimación de 1.200.000  $m^3$  para la alimentación que se propone es a todas luces insuficiente, por una parte, y sin garantías de permanencia, por la otra. Tal estimación podría pensarse que fuera válida para los oleajes reinantes, pero no para los extremos; y aun así, sólo a efectos prácticos porque incluso con los oleajes reinantes el punto de Cornaglia tiene mayor profundidad que el de cierre empleado. De hecho el Documento reconoce esta crítica en el epígrafe 1.1.9 a lo largo de sus páginas 15 a 17.

A destacar su observación de que el movimiento transversal llega al menos a la cota -12, pero matizando que el saldo positivo dentro de la banda (0,-12) debe corresponder a las pérdidas por encima de la cota 0, que no vienen determinadas. De haber empleado una banda ancha del lado de tierra se hubiera comprobado que el saldo seguiría siendo negativo. Y, de haber realizado el mismo cuadro por bandas, se comprobara también que el transporte longitudinal en esos 4 años hubiera correspondido con el saldo negativo de la banda en cuestión. (Es el transporte transversal el que acentúa la erosión en la parte alta del perfil mientras encubre la de la parte baja del mismo). Y que la erosión más crítica se presentase en la parte sur del tramo confirma el transporte longitudinal intenso durante el Gilberto, que tuvo componente de Sureste.

Las observaciones del epígrafe 1.1.10 confirman la erosión por transporte longitudinal también en el período “reinante” de 1989-2000 y ponen además de manifiesto no sólo que los sedimentos no han vuelto a subir por el perfil con los oleajes normales, no “ciclónicos”, sino que en ese período ha perdido arenas la parte baja del perfil. Pero es lógico si se piensa que el Gilberto operó con un nivel más de 3.5 metros por encima del medio, mientras los oleajes normales extremos operan con el nivel medio o algunos centímetros superior pero con tres circunstancias favorables a una profundidad de cierre superior o al menos próxima a los 12 m:

- a) las pendientes fuertes del perfil (>2%)
- b) la realidad de unas profundidades de cierre superiores a las señaladas en los epígrafes 1.6 y 1.7
- c) La presentación de oleajes de temporal durante ese período que, sin alcanzar la capacidad destructiva de los huracanes, alcanzan profundidades de cierre que permiten el desplazamiento hacia afuera por el transporte transversal, donde otros tipos de corrientes, incluso afloramientos continentales, tienden a alejar los sedimentos.

Especialmente destacables son los párrafos 4° y último del epígrafe 1.9 de conclusiones que advierten de la inaplicabilidad “aquí” de la profundidad de cierre empleada en los estudios, y de que la mera alimentación, al menos de la magnitud establecida y sin obras de contención, no va a ser solución al

problema planteado, todo lo cual creo que tiene mucho fundamento. Alimentaciones tres o cuatro veces superiores en cuantía pueden tener éxito, al menos transitorio y con la durabilidad suficiente para determinar medidas complementarias, en su caso. Y entre éstas debe pensarse en obras de apoyo o, en todo caso, en un mantenimiento a base de alimentaciones posteriores, cuya periodicidad y cuantía se abordan en otra parte de los estudios aquí analizados, pero cuya determinación debe realizarse tras la alimentación inicial inmediata y el seguimiento de la playa durante el primer año. En el momento actual esta discusión sólo puede demorar la ya absolutamente necesaria regeneración, siendo por tanto extemporánea.

### **II.3.4 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO 4- SOBRE LOS ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS. (de la CFE para FONATUR, 2000/01)**

Como el Documento anterior, utiliza al 1<sup>er</sup> Informe de la CFE del año 2000 y un Modelo Numérico para Predicción de Oleaje en tiempo real de la CFE del mismo año, además de los estudios primeros de la UNAM. Y se encuentra también en la Carpeta de la Primera etapa de los trabajos y estudios de la CFE, como los documentos anteriores.

El Documento es breve y resume lo que parecen haber sido unos bien documentados estudios para determinar el oleaje. Separa el que denomina oleaje ordinario, que puede considerarse un régimen normal de oleajes, del que denomina ciclónico, correspondiente a los huracanes que referencia, y parece considerar éste como un régimen extremal de aquel aunque en mi criterio no lo es; pero es legítima esta separación entre ambos porque pueden ser considerados fenómenos climáticos diferentes. El régimen extremal podría deducirse del medio normal pero no lo ha hecho así, y opera con el ciclónico para determinar sus períodos de retorno mediante la comparación con el de los registros extremos en el conjunto del golfo. Para el cálculo de obras, en su caso, habría que profundizar en este asunto. Pero no es necesario para un proyecto de alimentación.

Es muy prolijo el estudio del régimen medio, revisando y determinando el estacional e incluso el mensual. Pero tienen éstos sólo valor académico porque no ha discutido y determinado previamente los alcances de las auténticas estaciones climáticas, que en cada costa difieren en forma distinta de las estaciones astronómicas, tal como hemos demostrado en varios trabajos (ver Cap. VI). De hecho, en base a los datos que aporta el documento, se puede establecer en un primer análisis dos auténticas estaciones razonablemente duraderas, separadas por dos períodos transitorios irrelevantes a los efectos de los procesos costeros. La estación que podríamos denominar invernal se extiende desde parte de Septiembre hasta entrada Febrero y tiene una resultante media anual centrada en el octante E-NE, mientras que la que se podría considerar verano se extiende desde parte de Febrero hasta entrada Septiembre y cursa con una resultante media anual del oleaje en el octante E-SE.

Podría convenir determinar mejor esas resultantes y la anual en orden a conocer las capacidades de transporte sólido paralelo a efectos de investigación aunque excede de las necesidades para el proyecto ejecutivo. Pero puede prescindirse por el momento en una primera aproximación y a efectos de cálculo de aportación de arenas, porque no se trata de transportes reales. Sin embargo debe percibirse que los oleajes del documento no se compaginan bien con los transportes que se miden y alguna razón podría buscarse en la cuestión expuesta. De hecho la línea de costa parece indicar una resultante media anual dentro del octante E-SE, a la vista de las figuras y planos de otros documentos, ya que este Documento no informa de las orientaciones de la playa en ningún punto. Pero también influye la batimetría (ver Informe final o el anterior de la CFE, por ejemplo) que provoca unas refracciones a favor de la incidencia en rotura con componentes del segundo cuadrante.

Los oleajes más desfavorables en alturas, aunque ligeramente menos peraltados se presentan en torno a los equinoccios, es decir, en los períodos de transición, y corresponden a oleajes en generación (SEA) o fuera de generación (SWELL) pero próxima.

En resumen pueden aceptarse los datos que se aportan pero requieren una reelaboración con los criterios expuestos para las estaciones climáticas reales y con vistas a la determinación de las capacidades de transporte sólido en los 7-12 perfiles que se señalan en otro documento. (Supuestamente los siete que refiere el Documento final mencionado). Y ello sólo a los efectos de las operaciones de monitoreo y mantenimiento.

El análisis del oleaje de huracanes es suficiente pero hay que filtrarlo porque para cada punto de la costa los diferentes huracanes corresponden a diferentes poblaciones estadísticas. Por eso no sirven para un régimen extremal según mi criterio, y por eso la recurrencia que determina no me parece buena, aunque sin duda debe de estar del lado de la seguridad. Son pocos huracanes los que contempla, por otra parte. Yo creo que los datos del Gilberto son buenos para cualquier cálculo extremal a los efectos prácticos. Y que la determinación de un régimen extremal para Cancún con datos de todo el Golfo (Tabla 4.2.1), con tan pocos huracanes y tan diferentes respecto de Cancún, no me parece adecuado, y tampoco significativo salvo a título orientativo.

Como conclusión se puede considerar que la orientación actual de la playa es la que minimiza el transporte paralelo con los pivotes preestablecidos de los dos puntos extremos (Cancún y Nizuc). El tramo rectilíneo se orienta al ESE; en Punta Cancún domina el efecto apoyo y en Nizuc el efecto abrigo aunque es mixto en ambos, pero ambas puntas son rebasables y permeables; el transporte en verano es hacia Cancún y en invierno hacia Nizuc; y el resultante anual medio es hacia Cancún, que es por donde las arenas se salen de la playa para emigrar en Bahía Mujeres.

## **CAPÍTULO III.- ANALISIS DEL DOCUMENTO (INFORME) QUE DESARROLLA EL PROYECTO EJECUTIVO DE LA TERCERA ETAPA**

Este Proyecto culmina la tercera etapa de estudios de la CFE y es anterior al final analizado en el Capítulo II, aunque se recibió aquí en Julio, y se acompaña de algunos anejos y de otros documentos, que se analizan a continuación. Se recibió, enviado por el Ingeniero Carlos Sánchez de la CFE ante la reiterada petición de Documentos geofísicos y tablas que no se encontraban, aunque sí se referían, en los documentos recibidos antes.

### **III.1.- PARTE GENERAL**

Expone en ANTECEDENTES las actuaciones desde la ocurrencia del huracán Gilberto: los daños y su evolución posterior, estudios realizados [el encomendado a la UNAM por el FONATUR, 1989-1991 y el del comportamiento de las acciones puntuales de los hoteleros culminados en los estudios ya analizados de la CFE para el FONATUR y otros organismos y algunos ya analizados; y otros elaborados también por la Comisión Federal de Electricidad desde 2000 para SEMARNAP, en este primero, y para SEDETUR, después] y que condujeron a diferentes proyectos a los que éste, analizado ahora, corrige y completa. Lo más significativo del proyecto en cuestión es que contempla la alimentación y obras de apoyo complementarias. Además la alimentación que propone es francamente superior a la de las propuestas anteriores, aunque inferior a la del informe final. Las obras son de dos tipos, apoyos laterales en los extremos para dar extensión y compacidad a las Puntas de Cancún y Nizuc en esa función, y defensa longitudinal para contener la playa en sentido transversal. Estas obras no parecen susceptibles de ser aprobadas hoy por la Conabio ni por Semarnap, lo que parece causa de que decaen en el Informe final. de acuerdo a sus OBJETIVOS y que se refieren:

- a la elaboración del proyecto ejecutivo definitivo
- a las recomendaciones para la construcción y el monitoreo
- al mantenimiento posterior a la ejecución del proyecto
- a la toma y medición en adelante de datos nuevos y de contraste
- al levantamiento batimétrico a realizar del tramo completo.

Además de desarrollar estos referidos puntos, finalmente describe y desarrolla el proyecto, que establece el volumen de relleno a 2.330.000 m<sup>3</sup> y que introduce, respecto de anteriores, unas obras de apoyo en los extremos del tramo y una protección longitudinal a todo lo largo del mismo en el borde de la playa seca. Justifica el uso de escolleros en lugar de geotextiles en los apoyos en base al mal comportamiento, que dice comprobado en las obras hoteleras, de éstos en zona de rotura, pero no lo hace suficientemente con la función del tubo protector de geotextiles longitudinal, que presumiblemente pudiera adolecer de los mismos problemas si le alcanzaren las olas rompientes. La defensa del comportamiento de ese tubo que realiza en el Documento “Comentarios Adicionales”, separado del INFORME pero en su misma carpeta, es limitada pero coherente. Este Documento se analiza más adelante.

El presupuesto, los plazos de ejecución y la revisión de precios son correctos y se basan en programar la ejecución entre Marzo y Octubre, período que sin embargo no está suficientemente justificado ya que las diferencias climáticas del período Octubre-Febrero, siendo evidentes, no parecen de fuerza mayor, aunque no hay motivo para cuestionarlo. Sin duda con dragas y equipos pequeños está justificado, pero la

urgencia sí permite cuestionarlo. Están bien estudiadas todas las alternativas del relleno en el epígrafe 2, desde las operaciones a los precios, y sólo se hará algunos comentarios sobre el punto 2.8. Clima Marítimo.

Lo referido en este Documento es escaso, aunque sin duda sintetiza otros estudios anteriores propios y de la UNAM que se analizan en otros lugares, pero, como consecuencia, su exposición de los Datos del Clima no permite aquí un análisis crítico exhaustivo. En cualquier caso no refiere el porcentaje de calmas (consultas con el equipo autor justifican esta ausencia en que se consideran calmas sólo una fracción pequeña), ni los regímenes de oleaje (medios) y temporales (extremos) diferenciados de los episodios extraordinarios (ciclones o huracanes).

Metodológicamente, y como se discute en sus documentos, es preferible el uso de regímenes al de valores medios o significantes medios. Tampoco se analizan las causas de las diferencias entre los datos de satélite y los obtenidos por medición “in situ” (aunque éstos se analizan en otro punto en este trabajo). Y se pasa por alto el efecto de la propagación en determinados datos, no tomando en consideración la orientación de la línea de costa y de las sucesivas batimétricas respecto de las direcciones cardinales. Así, no se valora bien el potencial explicativo de la Refracción y la Difracción de los oleajes en el transporte de sedimentos a través de las modificaciones en la oblicuidad de incidencia de los oleajes respecto de la costa en el momento de rotura. Nada de ello afecta a la viabilidad del proyecto, ni a los cálculos pero sí al estudio de los procesos y al establecimiento del diagnóstico. Sin embargo el consultor manifestó haber ejecutado las propagaciones e, incluso, las mostró al redactor de este Dictamen, por lo que se encuentran disponibles y son válidas para el proyecto ejecutivo.

Existen además algunas discrepancias en los períodos de unos puntos a otros en los diferentes estudios y observaciones que no están explicados y que tampoco se pueden explicar ahora, pero es aconsejable alguna observación más: los períodos significantes de la medición frente al Ritz Carlton son más consistentes con los estudios de la UAM (7-10 seg.), mientras que los de las Puntas Cancún y Nizuc (5-7 seg.) lo son más con las observaciones de satélite. Por todo ello debe considerarse que sus conclusiones, siendo correctas, resultan incompletas al no profundizar en los efectos de la propagación ni en las causas o razones de las discrepancias en los períodos. Pero las carencias sólo afectan al cálculo de estructuras y no al proyecto de la alimentación. Y las estructuras no se contemplan en el proyecto propuesto finalmente.

La investigación de los Bancos de Arenas para préstamos (epígrafe 3) me parece completa y de conclusiones correctas y suficientes. No obstante, siguen ahora algunos comentarios adicionales sobre los datos sedimentológicos. No afectan tanto al diseño, proyecto ni ejecución como al análisis ambiental. En todo caso, se ve que son “los mismos” materiales que se encuentran en las playas. Un primer análisis de las curvas granulométricas de las muestras de los Bancos ofrecidas en este Documento permite observar que son similares a las revisadas en el Capítulo II. Al parecer las nuevas investigaciones vinieron determinadas por la conveniencia de completar la información y la evaluación de los bancos. Más adelante se destaca un pequeño problema logístico ya mencionado que obligará a modificar hacia el Noroeste el área de dragado propuesta para el Banco de Megarizaduras entre Isla Mujeres y Punta Sam.

- Las curvas de las granulometrías de Punta Sam frente a Isla Mujeres indican cierto carácter fluvial y alguna pequeña bimodalidad en la parte superior, el primero posiblemente causado por alguna corriente costera permanente y la segunda por cierta alimentación local (arrecifes naturales arrasados

paulatinamente, con casi toda seguridad). Ha de observarse que el paso por el “estrecho” de Punta Cancun puede asemejarse a una cierta hidrodinámica fluvial. Y que cercana a Punta Sam está la corriente del canal emisario lateral norte de la laguna de Nichupé.

- Las curvas de las muestras de Isla Mujeres son más “litorales”(tienen mayor pendiente), afectadas por corrientes de oleaje, pero su bimodalidad es mas importante y con alimentación local más próxima o reciente. La profundidad de las megarizaduras es moderada y sus sedimentos están sometidos al oleaje de ahí la recuperación de litoralidad al aumentar el recorrido en la bahía. Pero sus potencias son también moderadas y, junto a la reducida profundidad dificultan el dragado, sobre todo si se requiere cuantioso.
- Las curvas de las muestras de Puerto Juárez tienen un marcado “carácter deltaico” (convexidad hacia arriba) que indica una corriente fluvial o sumergida intensa. La fracción menor es la que marca esa bimodalidad en estas muestras, mientras que la superior indica deposición reciente y señala una tercera moda en la distribución. Con todo, alguna muestra como la n° 77 indica ya una fuerte homogeneización con apenas una pequeña heterogeneidad en la formación superior. Parece que existe ahí una aportación desde la costa próxima.
- Las muestras de Isla Contoy se asemejan a los de Isla Ram pero con la fracción inferior menor marcando la heterogeneidad. Y con alguna menor fluvialidad, más afectada por tanto por oleajes. Pero su muestra n° 79 es distinta a las demás y extremadamente fina y con su pequeña fracción gruesa “deltaica”. Esta muestra corresponde a la fracción que se corresponde con la que marca la heterogeneidad inferior en las otras.

En otro orden de cosas ha de observarse también que el banco de Isla Mujeres está atravesado por varias conducciones, eléctrica, comunicaciones,... que condicionan el recinto de extracción, por lo que debe variarse respecto del propuesto, quizás desplazándolo hacia el Noroeste.

La “litoralidad” está muy marcada en la mayor parte de las muestras de las playas (Epígrafe 4). Y se ve mejor en estos gráficos que en los del Documento n° 3 para FONATUR, ya comentado en el Capítulo II, en razón de la relación de escalas vertical/horizontal. Merecen destacarse la influencia eólica, que acentúa la pendiente de las curvas en las muestras de dunas, más marcada en las dos primeras (muestras n<sup>os</sup> 1 y 10) y menos en la tercera (18). Se presentan algunas bimodalidades en la parte superior en zonas de rompientes, (3) y sumergidas (4, 5, 8, etc), alguna muy fuerte (5); y la muestra n° 7 adolece de información sobre la fracción por encima del tamiz # 16 con lo que no se puede identificar la heterogeneidad. Estos análisis de muestras de playa han determinado ya un cambio en las conclusiones, respecto del Documento 3 citado, en el análisis del mismo realizado en el Capítulo II.

Adecuados son los métodos para analizar la estabilidad de la arena (epígrafe 5) y calcular los volúmenes de aportación (epígrafe 6), pero se debe decir, respecto de la estabilidad, que ésta no depende sólo de la compatibilidad entre arenas, que está garantizada con la mera comprobación de que ambas, la fuente y la nativa, son de la misma naturaleza y procedencia y, probablemente aunque está sin comprobar, las mismas en sentido estricto, haciendo en cierto modo obvio este análisis, sino de las pendientes de la playa versus tamaño del grano, y, sobre todo, de que el perfil adquiera un desarrollo superior a un cierto “umbral de estabilidad”; Este desarrollo sólo se logra si se configura una barra estable, algo que exigiría alimentaciones mucho mayores o barras artificialmente incorporadas.

Es algo que ya se ha discutido al analizar los perfiles de proyecto en los Documentos anteriores y que también afecta al cálculo de volúmenes. Entre la Documentación de este CD se han recibido planos del

proyecto y también de batimetrías, entre los que se echa de menos la reconstrucción de los perfiles transversales; pero en otro de los documentos recibidos al principio (el Informe Final, ver Capítulo II), se ofrecen tres perfiles representativos de las tres zonas, A, B, C, en que se dividió allí el tramo. Su observación indica que en el tramo C (al sur) el perfil es estrictamente monoparábólico indicando una avanzada erosión; el tramo B insinúa una barra mediante un tramo horizontal más allá del estrán, lo que indica una cierta erosión profunda superior a la crítica; y sólo el perfil del tramo A (al norte) muestra una cierta barra con pendiente inversa, aunque muy poco desarrollada, lo que puede indicar que está próximo a la situación de erosión “profunda” crítica. En esas condiciones se debe sospechar que los volúmenes calculados puede ser insuficiente. No significa que esa alimentación sea entonces inútil, ya que mejor es eso que como está, pero sí que la anchura de playa tras un cierto tiempo se reduzca más de lo deseado, y más de lo previsto en los modelos, no tanto por erosión propiamente dicha como por búsqueda de la construcción de un perfil estable. En la documentación recogida en Septiembre se contienen muchos perfiles transversales, cuyo análisis se incorpora en el Capítulo IV, pero que no modifican el resumen expuesto en este párrafo.

A este respecto, son escasas en el informe del proyecto las referencias a la protección tubular geotextil de borde, cuya presencia va a afectar a la evolución de línea de costa y perfiles, pero que no cumple la función de la barra en cuanto a la contención del perfil (más información se contiene en los Comentarios adicionales que luego se discuten). Las imágenes con este dispositivo que se incluyen en el CD son comprensivas y permiten augurar unas mayores reflexiones de los que refiere el Informe si queda al descubierto por la erosión de las arenas que la cubren. Las experiencias del autor son de que, incluso con pendientes de 5:1, las reflexiones son notables.

Por su parte, las estructuras terminales (epígrafe 7) parecen bien estudiadas y diseñadas, aunque no se tiene experiencia de la distribución de Tayfun para valorar el método. Produce confianza su uso por los autores al ser un problema relativamente trivial el de la estabilidad y funcionalidad de estas estructuras. Su diseño, en todo caso, parece acertado, y sólo sorprende que no se sirvan de los geotextiles para reducir núcleo y mantos intermedios y garantizar más la impermeabilidad frente a los sedimentos. Mayor información, detalles y recomendaciones sobre los apoyos laterales se dan en el texto “Comentarios finales”, que también incorpora parte de la evaluación económica y financiera de este proyecto.

Están bien, sin entrar en los detalles, los epígrafes 8 (catálogo) y 9 (Especificaciones) y me parece bien planteado el epígrafe 10 porque el mantenimiento será ineludible. Con el apoyo del Anexo D, donde se explican las bases del modelo GENESIS, en este último epígrafe se analizan las posibles causas de pérdidas/daños en relleno y estructuras de cierre (espigones). Aparece una duda sobre cómo afecta la presencia del tubo protector longitudinal al empleo de ese modelo o si no le han tenido en cuenta; si el tubo “funciona” no ha lugar a retrocesos en la línea de costa y sólo a erosiones en el estrán; y si no funciona suficientemente, se debe desconfiar del grado de ajuste del modelo a la presencia y rigidez del tubo. Finalmente se echa de menos que no se aluda en este punto 10 a dicho tubo en el detalle de las operaciones y mantenimiento que indudablemente va a necesitar. Todas las conclusiones y recomendaciones del epígrafe 12 son correctas y además básicas. Y la lista de aclaraciones del epígrafe 14 muy oportuna.

Un comentario final sobre los rellenos de mantenimiento. Determinados mediante la aplicación del GENESIS, serían probablemente de tener en cuenta tal cual si no existiese el tubo protector, pero la presencia de éste quita valor a las pérdidas estimadas, por lo que las operaciones de mantenimiento deben

estudiarse de otro modo, y no en base a las estimaciones del GENESIS. Sirve este modelo o cualquier otro al respecto para presumir la parte de la playa más susceptible de requerir el mantenimiento, y en ese sentido será necesario actuar pronto en el sur de la misma, pero los volúmenes de relleno no podrán seguramente determinarse bien hasta realizar el seguimiento y comprobar las pérdidas. Lo que requerirá batimetrías recientes. Sin embargo, llama la atención lo mal que se compadecen las recomendaciones de mantenimiento (máximas en el sur del tramo) con los datos de la Tabla 8.1.1 del Informe de Recopilación (epígrafe II.3.1 de este Dictamen)

En cuanto al Documento de “Comentarios Adicionales”, los que se refiere a la Evaluación Económica y Financiera parecen coherentes y su discusión correcta. Nada que añadir. En él se incluye además el Proyecto ejecutivo de la obra de protección costera de tubo geotextil (Protectube) que se había echado de menos varias veces en este análisis. No teniendo una buena experiencia sobre el comportamiento de tubos geotextiles en zonas con rompiente o alcance de la ola rota no es posible pronunciamientos inequívocos, porque los factores que afectan a los geotextiles son además los ciclos de luz y de humedad y la calidad del relleno. En principio esta defensa protege sin duda el relleno a su trasdós y demora las predicciones de evolución de la línea de costa de los modelos como el GENESIS, pero las características de pendiente (3:1) hacia el mar no pueden impedir reflexiones y, consecuentemente, socavación.

Adicionalmente el perfilado de obra en su plataforma y talud va a evolucionar en seguida reduciendo la plataforma porque el perfil tratará de buscar a su costa su situación de equilibrio con barra. Así pues, no queda claro en el proyecto que 40 metros no sean excesivos para el mantenimiento embutido del tubo en relación con los 65 m. de anchura total de la playa seca, incluida la zona en talud. Por lo demás el método y sistema de colocación parece razonable si el relleno de los tubos es correcto y completo.

A pesar de la múltiple bibliografía en contra, generalmente derivada de un artículo de R. Dalrymple sobre el comportamiento referido por Mc Douglas y Weggel de un intento de playa artificial en el estuario del río Delaware, y poco afortunado en cuanto a la posición del apoyo de pie de perfil, se debe confiar más en este tipo de defensas longitudinales para contener las arenas en el perfil. Los tubos geotextiles optimizan ahí su función al permanecer sumergidos siempre y su colocación puede resultar más económica, al no requerir ser enterrados. Sin embargo, algunas ventajas permanecen en el sistema de protección del proyecto ejecutivo desarrollado en el INFORME analizado. La ventaja de este sistema es que, producida una erosión importante, se pueden tomar medidas inmediatas, ante su evidencia, para rellenos nuevos que restablezcan el perfil.

En esos mismos “comentarios” se presentan unas propagaciones de la altura de cálculo en profundidades indefinidas para determinar la altura de cálculo de las estructuras de apoyo. Algo que debió hacerse también en los estudios de corrientes y transporte. Aquí cumple su función para el diseño de los apoyos.

### **III.2.- ANALISIS PARTICULARIZADO DE LAS MEDICIONES “IN SITU”. (Documento “Mediciones y Anexo C”)**

Se refiere este documento a la medida de los oleajes, corrientes litorales y otros parámetros en tres puntos de la playa (los dos extremos y uno centrado). El período total de medidas es razonable, aunque no se cumple en los tres puntos, y dependiendo con qué objetivos. Para deducir los oleajes creo que no lo son. Y

entre los objetivos no han estado los Regímenes de oleaje y de temporales, que indudablemente hubieran requerido períodos de medición más largos o metodologías más complejas, recurriendo a registradores permanentes o a datos de satélite en relación con ellos.

Desafortunadamente las estadísticas de alturas de ola no se dan en forma de regímenes aunque quizás aún podrían deducirse del Banco de Datos del Consultor. Tampoco analizan la relación de las direcciones de los oleajes con las batimetrías y las direcciones en profundidades indefinidas, aunque podrían también deducirse. En contrapartida muestra bien la relación entre alturas de ola (energías de los oleajes) y las velocidades de corriente, pero no pone ninguna de estas variables en relación con las direcciones. Tampoco explicita las proporciones de calmas aunque lo justifica el consultor en su escasa significación. Y finalmente existe alguna confusión en la forma de exponer las direcciones (de oleaje o corrientes), que algunas veces se indican “hacia” y otras “desde” lo que dificulta la seguridad en el análisis. Nada que no pueda subsanarse sin embargo si se profundiza en los datos y en el Anejo C.

En todo caso las direcciones de las corrientes no pueden ser más que consecuencia de las de los oleajes respecto de la batimétrica en rompientes (desconocidas ambas) y que la causa de los cambios de un punto a otro no pueden ser más que las consecuencias de la propagación (refracción y, en los extremos, difracción), además de la altura de ola.

En razón de las carencias anteriores, en cuanto a las relaciones entre intensidades de corrientes, alturas de ola, régimen de oleaje escalar y direccional, batimetrías y profundidades de rotura, el mejor parámetro para conocer la evolución del clima a lo largo del año, es la temperatura, que indica bien una estación suave (Febrero-Octubre) y otra más dura (Octubre-Febrero).

Hay algunos datos complejos de explicar y sin suficiente información para ello, como la distribución de direcciones de corrientes en P. Nizuc y sus diferencias respecto de las de los otros dos puntos, que sin duda se deben a los frecuentes vórtices en dicha punta a causa de la refracción y difracción finales y a las turbulencias generadas por las rocas de la misma.

Los mismos fenómenos deben ser los responsables de las menores alturas de ola en el extremo sur, aunque no hay información para demostrarlo. Pero lo más difícil es explicar las relaciones entre los períodos del oleaje entre los tres puntos de registro “in situ” y la observación en satélite, respecto de las que se dedujeron en los estudios de la UNAM en los años 1989-91. Pero la Batimetría debe tener una gran influencia en todas estas circunstancias y se echa de menos su análisis en el Documento.

Los puntos de medida se hallan a diferentes profundidades, más someros y próximos los extremos, mucho más afectados en sus medidas por los efectos sobre la propagación de las formaciones rocosas de las puntas Cancún y Nizuc. El punto intermedio se halla ya donde las batimétricas se orientan claramente divergentes de la línea de costa. Es preciso pues conocer cómo evoluciona en dirección cada oleaje y no sólo tener la estadística por direcciones de los oleajes en cada punto.

Las corrientes litorales son máximas en la Punta Cancún en sentido (hacia) NE, de hasta 50 cm/s de media y 80 cm/s de máxima, y viene seguramente impuesta por casi todos los oleajes y no sólo los de segundo

cuadrante, dadas las características de la batimetría y la presencia de la Punta, de modo que sólo los oleajes N-NE dan corrientes, y con reducida oblicuidad, en sentido contrario. Se reducen hasta ser las menores en Punta Nizuc, con valores medios de hasta sólo 10 cm/s y máximos de hasta 50 cm/s y en todas las direcciones y sentidos aunque dominan algo las de (hacia) el E. La vorticidad del área y la forma de la línea de costa son causa de la dispersión de sentidos y ésta última de la difracción que acentúa el sentido dominante, hacia la Punta. En el punto intermedio las velocidades son intermedias, de hasta 20 cm/s de media y 60 cm/s de máxima, con dominancia del NE-SO, hacia el norte mayor a causa del régimen direccional del oleaje y la influencia de la batimetría en la propagación, de modo que el transporte neto allí es hacia Punta Cancún. Ciertamente los oleajes son mínimos y la anchura del flujo litoral (sección eficaz) es máxima junto a Punta Nizuc y los oleajes máximos y la anchura de flujo mínima junto a Punta Cancún, de acuerdo con la batimetría, lo que es coherente con las velocidades de las corrientes.

Los oleajes son también máximos en Punta Cancún con dominancia del SE (obviamente, tratándose de oleajes ya refractados y en difracción), con alturas significantes de hasta 2 m (99,5%), 1,25 m (90%) y 0,5-0,75 m de valor modal, y períodos significantes respectivos de 8,7 y 5-6 segundos (el pico, en la gama 6-9 seg.). En P. Nizuc las alturas son ligeramente inferiores pero de iguales períodos y (también refractados) del E-NE, que dan corrientes hacia la Punta haciendo que su sentido sea allí hacia el este. En el punto intermedio, el oleaje es francamente menor, como corresponde a una bahía respecto del de las puntas extremas, pero con períodos significantes algo mayores; los oleajes dominantes, E-SE (refractados también), son consistentes con el sentido de las corrientes, dada la orientación de la costa.

Las temperaturas son algo más elevadas, como conjunto, en Punta Cancún pero en ambos extremos se alcanza los 30° C y los valores modales alcanzan los 26-28° C. Sólo este parámetro nos indica aquí un “invierno” o período de clima marítimo “peor” de Octubre a Febrero, pero las alturas de ola no justifican en sentido estricto que no se pueden realizar trabajos de alimentación en todo ese período del año.

Junto con los datos de otros estudios y los referidos en éste de satélite es indudable que se han tomado muchos del oleaje y sus corrientes pero se carece en concreto de: a) Regímenes de oleaje, esto es distribuciones de su  $H_s$ , en el año medio, escalares y direccionales, anuales y estacionales (2 estaciones: Febrero-Octubre y Octubre-Febrero); b) Regímenes de “temporales” de los oleajes normales, ajenos a los de los huracanes, cuyo tratamiento estadístico no debe mezclarse con el del clima marítimo habitual, como se ha expuesto y justificado en otro lugar de este trabajo; c) relación entre los oleajes registrados (cerca ya a rotura) y los obtenidos en profundidades indefinidas; y c) efecto de la batimetría en la transformación de los regímenes.

Aunque en la documentación no se encuentran propagaciones, el autor ha podido constatar que han sido ejecutadas y se encuentran a disposición en las oficinas del consultor que realizó estos trabajos. Con la incertidumbre propia de los modelos de aplicación, las salidas de los mismos son consistentes con el resto de la información y con la evidencia de los procesos litorales.

## **IV ANALISIS DE LA DOCUMENTACION COMPLEMENTARIA Y RESTANTE**

Como se ha expuesto, en Septiembre se recogió información adicional de los trabajos de la CFE, cuyo análisis sigue en este capítulo, aunque alguna viene a completar, o está relacionada con la ya analizada previamente en los Capítulos II y III. También se verificó la existencia de otro material, como propagaciones de oleaje y determinaciones de transporte, que no estaba entre la documentación analizada ni en ésta pero que sirvió para su desarrollo y elaboración, y todo ello ha conducido a la revisión ya realizada de algunos de los iniciales comentarios de los Capítulos II y III anteriores, además de al análisis que sigue en éste.

### **IV.1.- DOCUMENTACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA.**

La mayor parte e los Informes de la Primera Etapa se habían ya analizado, aunque sin disponer de sus gráficos, planos y tablas. Aquí se analizan el resto de Informes y los Documentos gráficos conjuntos.

A) Su principal Documento, el del Diagnóstico, ya había sido analizado en el Informe Previo (Capítulo II) con otros documentos que se indican allí, y se ha revisado a la vista de las figuras 3.6.1 y 3.6.2 (ver II. 3. 3). Sin embargo no se habían visto ni, por tanto, analizado algunos documentos previos del mismo, ni sus figuras y planos, que también se encuentran entre los Documentos de la primera etapa en el CD recogido en México DF de la CFE, y que son los Planos que siguen a continuación. Las figuras en cuestión resultan ser las mismas que en la segunda etapa se reproducen como 1.1.2 y 1.1.3 en el Informe final de esa etapa (y también en su Anexo “Figuras”). Son diagramas que representan la reducción de volúmenes de sedimentos (o de éstos incrementados en los de arrecifes arrasados por la erosión) hasta las diferentes cotas bajo el nivel del mar de referencia, cada 2 metros y hasta el límite de los 12 metros. La primera de las figuras (3.6.1) se refiere al período 1985-1989 y muestra claramente el paso de grandes volúmenes de materiales desde por encima de la cota -6 metros hasta por debajo de ella, atribuido principalmente al huracán Gilberto. La segunda (3.6.2) tiene dos diagramas análogos para los períodos 1985-2000 y 1989-2000, los datos de 2000 de Febrero, y muestran que desde la parte inferior de la playa, los materiales se perdieron del todo para el sistema litoral. Más comentarios en el análisis de la 2ª Etapa (párrafo final de IV.2), y ya se hicieron otros en el Capítulo II.

Los Planos de la Carpeta del Diagnóstico no pudieron verse inicialmente y no están analizados antes, aunque sí se han tenido en cuenta para la redacción final del Capítulo II. Son dos batimetrías y una línea de costa comparada.

La batimetría de 1985 aparece ya tratada por la CFE, y georeferenciada, para permitir su comparación con las posteriores tal y como se explicaba en los trabajos de la primera etapa. Está regularizada y lo más destacable es el cuenco que presenta en todo el tramo central de la playa contorneado por la isobata -12m. Hay que considerar que ya había comenzado la erosión en la playa sumergida.

La batimetría de 1989 aparece sin embargo mucho más irregular, a pesar de que se debe suponer el mismo tratamiento por parte de la CFE. Debe obedecer al afloramiento de fondos rocosos. Los colores en ambos

mapas son desafortunados y dificultan mucho la visión para un análisis más profundo con rapidez y eficiencia.

La evolución de la línea de costa indica (véase el plano de líneas de costa, y el Documento de Diagnostico de la CFE, de esta Etapa):

- a) junto a la Punta Cancún, avance entre 1985 y 1989 y retroceso hasta el 2000
- b) pocos centenares de metros al sur, el retroceso entre 1985 y 1989 se mantienen en 2000
- c) más al sur hay un tramo en que la playa se recuperó en 2000 hasta los niveles de 1985
- d) y es más al sur que de nuevo la posición de la línea de costa en 2000 es la más rezagada, más o menos como en 1989, hasta un par de kilómetros antes de Punta Nizuc en que de nuevo adquiere la posición más rezagada.

Una información más detallada y cuantificada de estas batimetrías y líneas de costa se puede observar en el documento de Diagnostico de la CFE de la primera Etapa y se ha analizado en el Epígrafe II.3.3.

B) El estudio oceanográfico ya se analizó. (ver II. 3. 4). No hay más documentación, pero en los archivos de la CFE conservan los documentos instrumentales y los bancos de datos que respaldan el Estudio en cuestión.

C) El estudio de geotecnia constituye en verdad un estudio primero de identificación de los bancos de arena para la alimentación de las playas. Se extrajeron muestras de arenas demasiado cerca de la línea de costa en mi opinión. En puntos del frente playero y de la costa de Bahía Mujeres. Y más tarde se tomaron 28 muestras más frente a la playa, y otras en el banco de "Isla Blanca". También se obtuvieron cuatro sondeos y dos pozos de lavado; y se acompaña todo ello de una investigación geofísica mediante reflexión sismoacústica.

El Informe de geotecnia se trata de una mera investigación de las arenas en playa y bancos de fondo. Muestras para análisis petrográfico, muestras para granulometría desde la duna a los 10 m. de profundidad, sondeos en los bancos con 5 m. de espesor y dos pozos de lavado más profundos. Todo correcto. Las densidades sólidas son aquí correctas ( $2,83 \text{ g/cm}^3$ ), se demuestra que todo es calcáreo y se detecta cómo le afecta su solubilidad. La fracción de conchas parece baja (1%) pero la limosa (9%) de los fondos no debe extrañar debido al continuo proceso de solubilidad y sobresaturación. Los análisis son muy completos. Los materiales procedentes del arrasamiento rocoso coralino están representados, por ejemplo, por la muestra (1)NI7-6,00/00). Las dos siguientes ya están más litoralizadas.

Algunos de los sedimentos se consideraron ya demasiado finos en los propios estudios y de ahí las investigaciones posteriores. En mi opinión el único problema determinante de este trabajo fue que algunos puntos de muestreo se hallaban demasiado cerca de la costa. Lo demás no es relevante dados los mecanismos del comportamiento de los carbonatos: cierto que no compensa recurrir a los sedimentos finos, pero no porque sean incompatibles sino porque se disuelven antes. No puede haber duda de que todos los sedimentos de la zona son del mismo material calcáreo.

A señalar que las densidades de fiar son las que superan los  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . En otros casos debió determinarse el contenido en Materia Orgánica y realizarse una densitometría de contraste con el material triturado y lavado, aunque probablemente se midieron densidades diferentes unas veces de otras.

Las muestras son muy “litorales” y homogéneas, con algunas excepciones como las 1-HPA, 10-HPA, 2-AI0 (problemas de tamicos), 3 KUK (fina), P-NI7 (bimodal), 1-NI7 (trimodal y próxima a algún arrecife en erosión) y 4-NI7 (incompleta). Todos los sondeos y pozos de lavado se corresponden con los 5 planos de la zona del banco de Bahía Mujeres, cerca de Punta Sam. Verdaderamente es aprovechable pero lo probable es que se prefiera finalmente la zona de la Ollita para la extracción. Esta documentación será útil en todo caso para aportaciones de arena a la playa marginales o las de mantenimiento posterior al proyecto de regeneración.

Además se realizó una investigación sismoacústica que permitió ampliar con eficacia la zona y los bancos a identificar y valorar, dentro de una zona predeterminada al norte de Punta Sam. Constituye un trabajo correcto y completo. Este estudio concluye la existencia de material compatible suficiente aunque algo disperso. Pero ha sido ampliado y mejorado por otros estudios posteriores ya analizados en los Capítulos II y III. Con todo, sus aportaciones son significativas y su validez incuestionable. La investigación geofísica se extendió después, en otras etapas, a otras zonas hasta determinar dos bancos para la extracción (3 y 5) (Megarrizaduras y La Ollita) y también en ellos se practicaron los suficientes análisis granulométricos, petrográficos y mineralógicos.

Los Planos de geotecnia no quedan bien localizados ni están bien referenciados, pero sí están bien explicados en el Informe de geotecnia-geofísica y corresponden a una misma zona; son los siguientes:

- El Plano de localización de líneas sismo-acústicos (plano nº1), del 2000, que detalla los recorridos de aplicación del sistema de reflexión sismo-acústico.
- El Plano de batimetrías (plano nº2), del 2000, no bien localizado pero consistente con los demás.
- El Plano de Morfología de Fondo (plano nº5), del 2000, superponible o coincidente con el anterior.
- El Plano de cima de material consolidado (plano nº4), del 2000, de la misma zona y también superponible con las anteriores. Las cotas de esa cima varían entre los -10 y -20 m.
- El Mapa de Isopacas de material no consolidado (plano nº3), del 2000 de la misma zona y superponible también, que da espesores de material suelto, sedimentario reciente de entre 7.5 y 12m.

Estos planos parecen corresponder a un banco inicialmente considerado y finalmente desechado, y que en la tercera etapa se reproducen como del banco de Punta Sam o de Isla Blanca, entre dicha Punta e Isla Mujeres. Como todos, estos documentos tienen valor y significado al margen de su aplicación concreta al proyecto y, sobre todo, permiten análisis más en profundidad de los realizados aquí y en los trabajos de la CFE, pero escapan a los objetivos de este Dictamen.

D) El Informe topohidrográfico describe los trabajos topográficos y batimétricos y se comparan los resultados con los disponibles de 1989. Discute los problemas para ello y los resuelve correctamente. La carrera de marea es del orden de 20 cm., pero se registra hasta 30 cm. por encima del nivel medio y hasta 25 cm. Por debajo (debo suponer que por efecto de las marea meteorológicas durante el tiempo de los registros). En el punto 2.3.4 se comparan las secciones en la playa de 1989 y de 2000, pero sólo se refiere

a las líneas de costa, que retroceden en el primer tramo (plano 2.1), en el tercero (plano 2.3) (de hasta 50cm), en el cuarto (de hasta 30m), en el quinto y en los dos últimos; y se observan alternancias en los intermedios y en el segundo: Erosiones en general y cerca de las Puntas y mantenimiento en un corto tramo intermedio, se corresponde bien con otros datos ya analizados.

Los Planos topohidrográficos que acompañan este informe muestran la Batimetría del 2000, que no es muy extensa pero recoge bien las irregularidades rocosas de las puntas. También, las secciones de playa que representan los ocho tramos en que se divide para mejorar el detalle, comparadas entre 1989 y 2000, indican un fuerte descenso y retroceso de la misma en el 2000 respecto 1989, aunque superior en el norte que en el sur y aunque los afloramientos rocosos se muestran como diques naturales paralelos. Es una buena información para una investigación académica, aunque resulta obvia, que plantea el recomprobar que ambas batimetrías están bien referenciadas. (Observando las aportaciones al estudio de perfiles en la segunda y en posteriores etapas, no queda duda alguna sobre lo expuesto).

La playa se encuentra partida, a efectos de la confección de los planos con los perfiles transversales en 8 sectores, el primero junto a Punta Cancún y el octavo junto a Punta Nizuc. El primero tiene secciones transversales cada 100 m. a partir de los 600 m. del origen, y así sucesivamente en los demás planos. No todas las secciones son de igual longitud y nada se dice al respecto, ni todas tienen su perfil transversal completo en 1989 (sí en Febrero de 2000). La erosión patente en los perfiles del 2000 hace que determinados lomos o jorobas de un perfil puedan tomarse por afloramientos del substrato rocoso (con toda probabilidad de origen arrecifal). En tal caso se pueden detectar algunas imprecisiones en la referenciación de ambas batimetrías (p. ej. la primera sección -0 + 600 m.- del primer plano), pero no parecen en general muy relevantes. En el plano 2 (de 8) se representan 15 perfiles entre los 2000 y los 3500 metros y así sucesivamente, hasta el plano 8 (de 8) que recoge las secciones entre los 12.000 y los 12.300 metros: Las modificaciones en los perfiles resultan muy dispares de manera que un buen análisis de los mismos con información de los fondos complementaria podría permitir alcanzar mucha información complementaria, pero excede las posibilidades y objetivos de este Dictamen. Sin embargo conviene preservar esta documentación, completarla con los perfiles de batimetrías posteriores e ilustrarla con las observaciones puntuales de los fondos de que se disponga o de la que se pueda disponer. La mayor modificación hay que atribuirle, salvo errores o defectos, a mayor erosión, porque apenas se encuentran trechos de perfil acrecidos; pero la menor erosión puede atribuirse a la situación del perfil o a la naturaleza de su fondo o substrato. La combinación de esta información con las de los análisis de las muestras aumenta aún más las posibilidades para el desarrollo de una investigación en profundidad.

El décimo plano muestra la poligonal de apoyo para confeccionar los restantes.

E) El Informe “Estudio Teórico de la Recopilación” ya se estudió en II.3.1 Aunque en la redacción final de ese epígrafe se tuvieron en cuenta, conviene reseñar y evaluar los contenidos de su Anexo de tablas y de los planos de la carpeta correspondiente. En la misma Carpeta que el Informe se halla el documento “Anexo tablas”.

Aunque como se dijo no se pudo revisar este Anexo hasta después de septiembre, ya se ha tenido también en cuenta para la versión final del epígrafe II.3.1. Pero tampoco en él aparecen algunas de las tablas citadas en el Informe, en particular los ya reclamados en Abril, 3.1 a 3.5, y que habría que buscarlas en la referencia 6 que cita. Pero puede prescindirse ya de ello dando por bueno el análisis del mismo.

Las dos primeras tablas de este Anexo dan resumizados los datos del oleaje “ciclónico” (esto es “de huracán”) determinados por dos métodos distintos. El método SMB debió dar datos más ajustados, por lo que sospecho que no ha tenido en cuenta el “efecto de configuración del Fetch” (P.S. Bores, 1969, Método Integrado de Predicción de Oleaje, Publicación del CEDEX-CEPYC). Todos se refieren a los mismos cinco huracanes con información de trayectoria y demás características completa. El análisis es correcto, es lo que se podría hacer entonces, creo que no ha lugar a considerarlos como fenómenos “análogos” a los oleajes reinantes y que no se tienen datos para un análisis, aunque tienen valor documental y de referencia. El método Huracán Estandar, que no conozco bien, da valores más verosímiles. La tabla 2.1 trata de interpretar los periodos de retorno con un régimen extremal que considero impropio con las razones expuestas en el Capítulo II; y también unos valores del coeficiente de Reflexión que parecen correctos, pero que nada tienen que ver con lo anterior.

La amplitud de la marea (astronómica, entiendo, pero con incorporación de las meteorológicas “normales”, no “ciclónicas”) parece verosímil y fiable, sobre todo tras la observación de los datos de marea de tres instituciones diferentes que se ofrecen al final de este Anexo. Los valores diferentes de las distintas Instituciones se deben a los diferentes puntos concretos de toma de niveles y a las limitaciones del período de medida. Pero son asimilables.

Sobre los coeficientes de refracción de los oleajes de las tablas 2.3 y 2.4 y de asomeramiento de la tabla 3.6 no hay nada que decir, y resumen una investigación de propagaciones cuyos datos base están en los archivos de la CFE. De ellas se derivan las características del oleaje a 10 m. (tabla 2.5) y en rotura (tabla 2.6). Las tablas 2.7 a 2.10 que recogen características del oleaje tras la rotura estarán obtenidas de las formulaciones teóricas correspondientes o de tablas como las del “Shore Protección Manual”, y con aplicación de los periodos de recurrencia antes comentados. (¡Sorpresa porque no están las tablas 3.1 a 3.5.!)

Los Planos de la Carpeta Recopilación, que son cinco, uno de los cuales –el portulano- aparece en varias de las carpetas, contienen: (Un análisis de detalle pudiera aportar información adicional para un objetivo investigador alejado de los objetivos de este Dictamen y de este proyecto, pero en absoluto ajenos a él. Es material todo valioso y su somera discusión aquí no se debe a que carezca de interés sino a criterios de claridad y eficacia en este Dictamen, lo mismo que ocurre con otros Documentos gráficos y textos de los trabajos de la CFE):

- a) La línea de costa de 1985 (Vuelo de 1984. Septiembre). Al parecer está ya georeferenciada por la CFE
- b) Una batimetría de detalle de 1989, hasta profundidades indefinidas completada con
- c) La misma batimetría extendida a una zona mayor hacia el norte y noroeste, que incluye la Bahía Mujeres.
- d) El portulano de Bahía Mujeres que aparece en casi todos los CD.
- e) Un Plano de refracción de oleaje de 8.5 seg. de período y de dirección Este, que es ilustrativo.

## **IV.2.- DOCUMENTACIÓN DE LA SEGUNDA ETAPA**

En su carpeta de Documentos, con el extenso Informe final 2 se incluye otra carpeta de Figuras de Informe. Contiene dos que recogen los planos con los puntos de muestreo y con el dominio de cálculo para el modelo de cubicación, y en el Documento “Word Cancún Figuras”, un conjunto de figuras le sirven para referenciar los textos que desarrolla en el Informe final de esta etapa mencionado. Tras el análisis de éste se sigue con el del Documento de Figuras.

El Informe Final es un Informe que complementa y continúa el de la primera Etapa, que de nuevo establece como ANTECEDENTE fundamental la preocupación de FONATUR y los gobiernos locales por las playas a raíz del Gilberto y que marca como objetivos el establecimiento de las alternativas de solución en base a la alimentación de la playa, las obras/estructuras complementarias, los procedimientos constructivos que minimicen el impacto sobre los hoteles y las costas, y los ensayos en modelo que permitan analizar y definir esas alternativas, así como el necesario levantamiento batimétrico.

Para ello desarrolla tres epígrafes, el primero y más extenso dedicado al estudio del problema de Ingeniería de Costas planteado con los datos obtenidos de la primera etapa, el segundo dedicado a la determinación batimétrica y el tercero a las Referencias bibliográficas, y cuatro Anexos. El anexo A explica la aplicación del sistema SURFER para la determinación de volúmenes de la Referencia 7. El Anexo B explica la aplicación del sistema CURVE EXPERT1.3, de la Referencia 8 para ajustar curvas en Windows. El Anexo C tabula los principales indicadores turísticos de Cancún, con datos de FONATUR, para los años 1975-1999. Y el Anexo D analiza las condiciones de relleno artificial de las playas. Los tres primeros Anexos constituyen información común y no ha lugar a su estudio aquí, estimándose como válidos pero incesarios, excepto lo que el tercero aporta a la cuantificación y determinación de la anchura requerida de playa, y que se da por buena.

El Anexo D entra en el análisis del comportamiento, funcionamiento y rendimiento de las dragas de succión, en el método de transporte del dragado y en el análisis de los modos de descarga. Todo ello sumariamente pero bien; y lo aplica al caso de las playas de Cancún y los bancos previstos para obtener rendimientos y tiempos de operación requeridos.

En las referencias bibliográficas se recogen los estudios de la propia CFE de la primera etapa y los realizados “ad hoc” para ésta, los que se refieren a los sistemas surfer y curve Expert 1.3, citados, y dos manuales y guías de usuario de los modelos del Danish Hydraulic Institute.

Y el epígrafe 2 resume el método empleado para la obtención de la Batimetría de Junio de 2000 y para su empleo en diseño de proyecto.

El grueso del informe se engloba por tanto en el epígrafe 1, que se articula en 5 partes: una primera para acotar el problema de erosión, una segunda para marcar y acotar la variabilidad de los perfiles de playa, una tercera para proponer el diseño en dos alternativas, una cuarta para la evaluación económica y financiera de ambas alternativas, y una quinta para la aplicación del Modelo Numérico (del DHI). El planteamiento del problema es correcto, las consecuencias se han reflejado o corregido en estudios de etapas posteriores, ya analizados, y la discusión pormenorizada de su contenido parece ahora extemporánea, porque no afecta a su validez, ya que ésta ha quedado matizada por documentos posteriores, y sí sólo a su valor científico, que no es lo que se cuestiona aquí. Es por ello que, con las

matizaciones que le afectan y que se contienen en los Capítulos II y III de este dictamen, se dé por discutido este Informe.

En particular el “Nivel de Erosión” se determina en base a los estudios ya analizados en el Capítulo II y de las batimetrías de 1985, 1989 y Febrero de 2000: Las tres figuras 1.1 son muy expresivas y se comentan luego, pero ofrece otra serie de tablas que recogen los movimientos de la línea de costas que ya se analizaron. A partir de ahí estima los volúmenes necesarios aplicando el programa Curve Expert para estimar las condiciones anteriores al Gilberto (obsérvese que siempre sería por defecto si, como es presumible, la erosión se había iniciado ya antes) obteniendo los volúmenes ya manejados de 1,2 m de m<sup>3</sup> hasta la cota -3 y de casi 5 m. de m<sup>3</sup> hasta la cota -12 m.

Determina después “los límites y las formas del perfil activo” de la playa, en base a 118 perfiles de la misma en las batimetrías de Febrero y Junio de 2000, seleccionando los “más representativos” (figuras 1.2.1 a 1.2.3) (Nótese que sólo se analizan 4 muestras de arena por perfil, lo que en verdad es suficiente pero quita casi todo el valor a los diagramas correspondientes de esas figuras). La definición así establecida del perfil activo es defectuosa en nuestro criterio aunque sea la comúnmente aceptada en la Ingeniería de Costas Internacional.

La partición del dominio de cálculo en tres sectores para el cálculo del transporte sólido viene impuesta por las limitaciones “de tamaño” espacial del modelo LITDRIFT (Fig. 1.2.4). El transporte viene representado en las figuras 1.2.6 y 1.2.7 (longitudinal) y 1.2.8 y 1.2.9 (transversal), en las situaciones batimétricas de Febrero y Junio de 2000 respectivamente.

En la Carpeta Planos se guardan los que siguen, muchos coincidentes con los de la etapa primera pero con información adicional sobre los trabajos que se refieren en el Informe:

- Plano 01. Batimetría y línea de costa de 1985, con indicación de los transectos.
- Plano 02. Batimetría y línea de costa de 1989, con la misma información.
- Plano 0303a. Batimetría de 2000 (Febrero). Ilegible en la práctica por el color de los textos. Contiene la línea de costa y las sondas según los transectos. Se ofrece conjunta y por sectores, la playa completa, como en los planos anteriores que no están sectorizados.
- Plano 04050608. Perfiles de playa en el 2000. En Febrero y en Junio, comparados. Se perciben cambios estacionales, con erosión en Febrero en la parte alta de la playa en toda su longitud.
- Plano 07. Línea de costa de las cuatro batimetrías 85/89/2000 (Feb/Jun); se observa una línea de costa más avanzada en Junio que en Febrero del año 2000, concordante con la información del plano anterior; y en lo demás parece la de la Etapa Primera, excepto la adición de la Batimetría de Junio 2000.
- Plano 8a. Perfiles de playa del 2000, comparados los de Febrero y los de Junio, con las mismas características, salvo algunas excepciones como las secciones entre 3.500 y 4.900 metros.
- Plano 09 10. Relleno y Estructuras Terminales (de la propuesta de proyecto de año 2001).- Consistente, aunque no ha lugar a valorarla puesto que están en cierto modo proscritas las obras en el momento actual.
- Plano 11.11a. Batimetría de Junio del 2000

Huelga decir lo ya expuesto sobre el valor de estos planos, el que su discusión no se extienda aquí no es por falta de valor sino porque más detalle exige tiempo y correlaciones con otros documentos que escapan de los objetivos primarios y urgentes de este Dictamen.

Además hay un Anexo C (alt. a y b); es un mero estudio económico financiero que es fruto de cada momento pero que no tengo criterio para objetar.

Análisis del Documento “Cancún Figuras”.- En documento aparte se dan las figuras del Informe que recogen información de gran valor para estudiar las playas con mucho mayor pormenor: están referidas a un plano, que se enumera como 1.2.1 en la misma carpeta, en el que se localizan los perfiles de las figuras 1.2.2 y 1.2.3; y se acompañan de otro, numerado como figura 1.5.1 y en la que se define el Dominio de Cálculo para la refracción, repetido por sectores en las figuras 1.2.4, y que permiten obtener las figuras 1.2.5.

El análisis de las figuras 1.2.1 a 1.2.3 es susceptible de extenderse mucho desde un interés científico, ajeno en sentido estricto a los requerimientos de este dictamen, pero ello dice bien de la profundidad y esfuerzo con la que se han realizado los estudios por parte de la CFE. En síntesis recogen a lo largo de 8 transectos, para Febrero y Junio, la forma de cada perfil y, su correspondencia con las granulometrías y con las características de los granos de arena en cada punto del mismo. Merece la pena observar que las dos batimetrías no se han resuelto con la misma precisión, y los perfiles de Junio parecen más regulares que los de Febrero; pueden buscarse explicaciones o causas para justificar las diferencias y podría ser bueno desde el punto de vista de completar el conocimiento, pero es parte de lo que se puede considerar extemporáneo. Y lo mismo puede decirse de los cambios bruscos en el diagrama de tamaño medio (o en el de rugosidad que, lógicamente, va casi paralelo a aquél), lo que permitiría identificar con precisión afloramientos rocosos arrecifales, y a lo que coadyuvaría el diagrama de la velocidad de caída (es seguro que la desviación típica sería un parámetro menos significativo y muy parejo a los primeros). Pero se estima que tampoco ha lugar a ello aquí. Sólo ver que la información encerrada en estos diagramas es muy amplia y compleja.

Los diagramas de refracción no explicitan los períodos, pero creo que no quedan bien resueltos porque no muestran el cambio de rumbo real de los oleajes; la impresión respecto de otras consecuencias observadas en el resto de los estudios es que el cambio es mayor en la realidad. Puede ser un problema del modelo, como de casi todos, que no responden bien a los cambios bruscos en la batimetría (como es el caso) o en los contornos (caso de estuarios o bahías pronunciadas).

En las figuras 1.2.6 y 1.2.7 se echa de menos un dato relevante: el oleaje de cálculo, lo que, junto a unos signos poco explícitos, dificultan o impiden el adecuado análisis, incluso la correcta percepción, de los procesos.

Las figuras 1.2.8 y 1.2.9 pueden ser muy ilustradoras sobre la morfodinámica a corto plazo de los perfiles transversales, pero también permiten determinar las dos zonas correspondientes a las dos barras que, con sedimentos suficientes de perfil hipercompleto, podría y deberían mostrar algunos de estos perfiles (0+900 en las 4 estaciones; 2+900 en otoño e invierno; 4+900 en otoño e invierno; 11+900 en primavera e invierno; todos ellos en los perfiles de Febrero y algunos otros en los de Junio).

La figura 1.2.10 es relevante para percatarse de que el perfil está ya en desequilibrio irreversible, esto es, que resulta inestable y requiere de obras de apoyo del perfil, lo que innecesariamente viene corroborado en la figura 1.2.11.

Las figuras 1.5.2 y 1.5.3 son consecuencia de los 1.5.1 y 1.2.4 ya comentados y predicen la evolución de la playa regenerada y el campo de corrientes en un punto de la misma para un oleaje dado: Ilustrativas y formadoras de criterio. Las previsiones lógicas y razonables de duración de la alimentación son bastante menores por las razones expuestas sobre las hipótesis del perfil de equilibrio empleadas por los modelos.

Al final del Anexo Figuras se reproduce también las ya conocidas y referidas 1.1.1 a 1.1.3 que acompañan al texto del Informe de esta segunda etapa. La primera es una mera delimitación del dominio de cálculo de volúmenes, definida por la línea de costa base y la isobata -12 m (presumiblemente, de la batimetría de Febrero del 2000). Las otras dos reproducen gráficamente las variaciones de volúmenes (supuestamente de sedimentos sueltos, pero podrían recoger alguna fracción de sedimentos consolidados “fósiles” o de arrecifes erosionados). Ya se vieron en IV.1 (A). La 1.1.2 recoge las variaciones acumuladas de cada dos metros de profundidad, decrementos hasta los 6 metros bajo el nivel medio del mar e incrementos entre esa cota y la de 12 metros bajo el nivel de referencia) entre 1985 y 1989, principalmente atribuidos al Gilberto, lo que supone un efecto principal de transporte transversal hacia fuera de la costa. Está comentado y matizado en el Capítulo II. La figura 1.1.3 recoge las mismas variaciones entre a) 1985 y 2000 y b) 1989 y 2000; y en está no se vislumbra inversión por encima de los 12 m. de profundidad; tan sólo una atenuación por debajo de los 8 metros en el primero de los gráficos, si bien también se percibe otra en los primeros dos metros en el segundo de ellos. Estos diagramas muestran claramente que el proceso erosivo es (y lo era sin duda, aunque aquí no se muestra, antes de 1985) “independiente” de los huracanes.

### **IV.3.- DOCUMENTACIÓN INCLUIDA EN LA TERCERA ETAPA**

En el CD de la Tercera Etapa (recogido en Septiembre de la CFE y coincidente con el recibido en Julio de la misma fuente) se puede prescindir de las carpetas Figuras e Imágenes y Oleaje Medido (que sólo recoge datos numéricos de registro; éste está tratado informáticamente por la CFE y debe pedírsele si se necesita algo del mismo que requiera tratamiento de los datos. Son datos válidos pero con significación limitada a la del propio período de registro, que es escaso). Entre su documentación se ve también una fotografía aérea con la evidencia del paso de sedimentos por delante de Punta Cancún hacia la bahía de Isla Mujeres.

Los textos sin encarpetar se habían analizado ya en el Capítulo III: el Resumen Ejecutivo y los comentarios finales (correctos y válidos todos para el Proyecto ejecutivo aunque la versión final de éste no contempla ya, y por el momento, obra de apoyo alguna. Los planos de las carpetas “geofísica” y “oceanografía” se analizan a continuación en este Capítulo (no se hizo antes por la urgencia de llevar a México en Septiembre un borrador suficiente) y la del Informe ya fue analizada también en el Capítulo III, excepto en algunos de sus Anexos que así mismo se analizan en éste, a continuación: Anexos A, B y Bi. Los anexos A y B reproducen los resultados de la investigación geofísica y son válidos. Y los B<sub>1</sub> (B<sub>1</sub>, figs. 4.10-4.20 y B<sub>2</sub>, figs. 4.50-4.65) ofrecen análisis granulométricos, representación de los cuales ya se analizó. Son todos válidos y apoyan la discusión anterior.

Las Carpetas “Figuras”e,”Imágenes” contienen referencias al Banco Calica que no ha lugar a analizar. Contienen también una carta náutica, o más bien el portulano, de la zona de Bahía Mujeres y de las playas de Cancún y que es la que se ve en casi todos los CD recibidos. La Figura 2 de la Carpeta Imágenes es un esquema del “Protectub” para defensa y refuerzo de la playa regenerada en la penúltima propuesta realizada por la CFE para el proyecto ejecutivo. En él se evidencia que la anchura del “babero” antisocavación puede resultar escasa y que la pendiente exterior del geotextil es demasiado fuerte.

La carta náutica o portulano es muy definatoria de la morfología general del sistema formado por la barrera- cordón de NIZUC-CANCUN y las Islas Mujeres y Cantoy. Curiosamente se pueden detectar en la carta las infraestructuras de conducciones que unen la Isla Mujeres con el continente (en la zona de Punta Sam) y que se detectaron en los trabajos de estudio de detalle de los fondos del Banco 3 para la elaboración de la MIA. Estas conducciones imponen el desplazamiento del contorno de explotación extractiva de dicho banco hacia el Noroeste para no interferir con ellas.

La Carpeta “Informe” contiene los Documentos analizados en el capítulo III. Su proyecto ejecutivo fue posteriormente sustituido por otro con mayores volúmenes de alimentación (las diferencias parecen haberse derivado de una más detallada metodología de cubicación, y son además lógicas. En otros puntos de este dictamen se exponen las razones por las que se consideran ambos datos, además, insuficientes para la consecución del perfil de equilibrio con la anchura de playa de proyecto -35m. + 25m.-). Consecuentemente el documento de los “Comentarios adicionales” de esa carpeta pierde mucho de su sentido, pero no carece de él porque sus evaluaciones conservan su validez, y si se tiene en cuenta que en el futuro se podrá plantear de nuevo la oportunidad y conveniencia de algún tipo de apoyo en los contornos de la playa, la consideración de estos comentarios pueden volver a tener sentido. Lo mismo puede decirse de los documentos “Comentarios finales” y “Resumen ejecutivo”, que quedan fuera de esa carpeta.

El Anexo D de la Carpeta “Informe” es una revisión teórica del modelo sin mayor interés, pero los Anexos A y B aportan la interpretación gráfica de los resultados de las investigaciones geofísicas de los bancos de extracción de arenas de Bahía de Mujeres y de Punta Sam (Isla Blanca) respectivamente. Conservan su valor para cualquiera que sean los estudios y proyectos futuros, y con independencia de que se recurra finalmente a esos bancos o no para los proyectos ejecutivos. Ya se sabe, y aquí se ha validado, que los bancos finalmente seleccionados son los de Megarizaduras y, sobre todo, la Ollita.

Los anexos Bi recogen información sedimentológica, sobre la playa y no de los bancos, a pesar de lo que indican sus portadas. Es más, no se encuentran todos los análisis reseñados, aunque no es relevante. Se echa de menos la determinación de la M.O. y de la porosidad, que completaran la interpretación de las diferencias en las densidades; pero tampoco es absolutamente necesario, toda vez que la procedencia y naturaleza de los sedimentos son obvias. Información de las muestras de los bancos se ofrecen en otros Documentos de otras etapas, y en sus correspondientes revisiones se discuten.

El anexo C resume los datos obtenidos en los registros “in situ” que se analizan en el Documento “Mediciones” y que ya fue analizado en el Capítulo III. A destacar que la CFE conserva propagaciones y corrientes en modelo obtenidos con estos datos y con los de fotografías de satélite y que demuestran las conclusiones que establecen en el Documento y, en particular, el transporte de sedimentos por delante y a

través de Punta Cancún hacia la Bahía de Mujeres. Los datos de registro de oleaje en los tres puntos que refiere la Carpeta de “Oleaje Medido” deben conservarse, aunque cualquier tratamiento de los mismos debe solicitarse, por economía, a la CFE.

En la Carpeta Planos de geofísica, los planos se refieren a los Bancos de Arena de esta fase del proyecto, por lo que tienen un valor relativo.

La Carpeta Banco 1 contiene cuatro planos, referidos todos al banco de entre Punta Sam, Punta Cancún e Isla Mujeres, considerado en este estudio como fuente de materiales de alimentación. El plano de Batimetría se extiende al paralelogramo que denomina Regional, mientras el de detalle se restringe a una parte de aquél. Además de las isobatas cada metro emplea tres diferentes tramas para el fondo de dibujo para, respectivamente, profundidades de menos de 4 m., de entre 4 y 6 metros y de más de seis metros. Son para manejo de dragadores y contratistas, lo mismo que el plano de Isopacas, con curvas cada metro y dos colores para más y menos de 4 metros de espesor de sedimentos sueltos. El plano de líneas refiere con precisión las líneas de investigación para la obtención de los otros tres planos y los puntos del registro anexo en el informe. Son claramente suficientes.

La Carpeta Banco II contiene otros cinco planos, en este caso referidos a un banco frente a la costa (sin identificar el “sitio”) que se consideró válido entonces para alimentar las playas y se levantó en Febrero-Marzo de 2000. Es el mismo fondo que se recoge en distintos planos de la Geotécnica de la primera etapa, y allí se describen, por lo que sólo indicarlo aquí. No merece más comentarios puesto que finalmente el banco se ha abandonado en la propuesta final de proyecto.

La Carpeta de Oceanografía contiene 22 Planos. El plano BN18BN2 se refiere al banco de Isla Blanca o Punta Sam, y se ha ofrecido con todo detalle en otras carpetas de planos de la primera etapa y en el banco II de la Carpeta geofísica de ésta. Tiene dos mapas, el primero con las curvas isobatas y el segundo con los isopacas. Es un banco finalmente desechado y no se comenta más aquí.

Los planos BPZ1-4 son de la batimetría de proyecto, cuatro planos para los tres tramos en que se divide la playa por razones de escala y el de la playa en conjunto. Está fechado en Agosto de 2001, Indican además la línea de hoteles, las lecturas de sonda y el área de relleno o alimentación (pero yo no los veo dos últimos en ninguno de los 4 planos). Están referidas las costas al nivel medio del mar y se georeferencia el mapa en conjunto con gran detalle. En los 15 metros se ve la morfología del arrecife aflorado, de manera muy notoria en el centro-sur de la playa, pero ya se perciben desde la isobata 3 en la mitad norte, aunque más alejados en la sur excepto en las cercanías de Punta Nizuc, en que vuelve a acercarse.

Los planos ET 1-2 representan las estructuras de cierre (apoyo) en ambos puntos (Cancún y Nizuc respectivamente) y ya se sabe que de momento no ha lugar a tomarlos en consideración.

Los planos FZ1-4 son superponibles con los BPZ1-4 anteriores, y dicen que el levantamiento topobatimétrico se realizó en Marzo-Abril de 2001 (aunque el plano se levantase en Agosto) y son los que contienen las sondas y las líneas de avance para su obtención (que no se habían visto en los otros). Se observa una reducción de la longitud de los transectos de sondeos en el tramo central de la playa, y eso se

refleja en la batimetría resultante. Pero es suficiente. Bueno sería comparar los perfiles transversales con los de las batimetrías anteriores (1985,1989, Febrero 2000 y Junio 2000) y con las posteriores...

El plano H1 es un mero mapa de accesos y de localización de hoteles y otras referencias topológicas, y el LP1 el de localización de los perfiles playeros, cada 100m., quedando todos los perfiles dibujados (los de 2001, llamados naturales), con los correspondientes de proyecto en el plano P18P2.

El V1 es el plano para referenciar las tablas de volúmenes de relleno determinadas por cadenamamiento entre cada dos secciones (perfiles del LP1). Los 2,3 millones de metros cúbicos totales parecen pocos y sin duda se debe a que los perfiles del cadenamamiento resultaron ser cortos, además de otras razones discutidas con la forma y el alcance del perfil de equilibrio.

Los planos P901-03 representan sobre la batimetría, en cada uno de los tres sectores de la playa, el plano general de las obras, que dice incluir la estructura de protección longitudinal (protectub) y las dos estructuras laterales de apoyo (la de P. Cancún en el primero y la de P. Nizuc en el tercero)

Finalmente los planos Z1 a Z4 son la nueva batimetría de la playa, de los tres sectores de norte a sur y del conjunto, respectivamente.

Aunque se ha repetido ya varias veces, esta breve descripción, que valora muy positivamente la disponibilidad de esta batimetría y de la información contenida en estos planos con ella de fondo, es susceptible de un análisis y de una discusión más pormenorizada, pero en sí estarían fuera del alcance de este documento. Sí sería propio de ésta la observación de los perfiles transversales de las diferentes batimetrías en cada una, o en algunas, de las secciones. Pero la obtención de esta información debe solicitarse de la CFE, y sobre todo después de facilitarle a ella las batimetrías posteriores a sus trabajos (2003, y dos de 2004, al menos). Esta información se pretende para el Capítulo V.

#### **IV.4.- ANALISIS COMPLEMENTARIO DE LA ETAPA FINAL.**

Ciertamente la documentación de la Carpeta impresa se puede considerar completa respecto de la que contiene el correspondiente CD, pero un cierto desorden en el archivo de figuras y la escala de algunos de los planos dificultaron su análisis y provocaron la demanda de material que finalmente condujo a la revisión de toda la documentación disponible. La recepción del CD correspondiente al Informe final, sobre su revisión necesaria para realizar y puntualizar el análisis previo de Julio (Capítulo II), merece una breve consideración de los Documentos que no fueron expresamente tratados en él. Es documentación que está incluida en las Carpetas de planos del Informe o del Anexo Técnico.

A.- En la Carpeta “Planos del Informe” se encuentran dos planos (uno de los 3 iconos no contiene nada). En uno de ellos se indican las rutas de transporte de las dragas de succión desde los bancos 3 (Megarrizaduras) y 4 (La Ollita), que definitivamente se seleccionaron para el proyecto ejecutivo propuesto en este Informe final. Propone (fig. 4.4) una selección en la playa de tramos para cada banco en base a la distancia y calados requeridos de las dragas que resulte coherente; la cuestión es que las alternativas de los dragadores pueden variar en función de las disponibilidades de arena en ambos bancos

y de la eficacia en su dragado, de modo que bien pudiera ser diferente la solución propuesta, incluso, en el proyecto ejecutivo. Vale la información como referencia y para la comprensión de los estudios económicos y financieros del Informe.

El otro incluye varias figuras, relativas a un dominio formado por la batimetría de la playa sobre la que se señalan transectos cada 100 metros, casi todos aproximadamente paralelos excepto los seis primeros (extremo de Cancún) que convergen en un punto de esa Punta. Junto con el dominio que permite localizar hoteles y baldíos, se presentan 60 perfiles transversales y un perfil tipo para esquematizar el de relleno. Son cada 200 metros, menos los tres primeros que se separan cien metros, y no se incluyen los de la Concha de Cancún. Son de Agosto de 2001 y sin duda corresponden al levantamiento de Marzo-Abril de ese año y reproducen las ya comentadas etapas anteriores. Son de cubicación y trasladan en paralelo al perfil la anchura seleccionada en la playa seca hasta la profundidad de cierre (-6m.) en que cierran el perfil con el talud 10:1, No se ven con facilidad por los colores empleados en el dibujo, pero su contenido ya ha sido evaluado.

Las figuras 3.2. y 3.2c detallan las líneas de hoteles y de costa existente y de proyecto de la playa en dos sectores, cada figura los de uno de éstos; y la 3.4, los tres perfiles tipos, de los tres sectores A, B, C (extremos los A y C) y central el B, que se analizaron ya y en los que se esquematiza: a) el perfil "actual", b) el perfil deseado supuesto conforme a lo expuesto en el párrafo anterior y c) el perfil constructivo (Talud 10:1)

Las figuras 5 (5.1 a 3 y 5.2c) vuelve a representar los tres tramos de playa (1 y 3 son los extremos) con los datos anteriores y con varios perfiles representativos de cada sector para cubicar volúmenes de arena necesarios. Muestra un cuidadoso detalle en la estimación y sólo se puede reservar el problema sobre los perfiles y su significado que se discutió ampliamente en el Capítulo II. El tramo central se descompone en dos: fig. 5.2 y 5.2c, pero la información de volúmenes es la misma en ambas.

B.- En la Carpeta de Planos del Anexo Técnico hay tres planos y otra Carpeta con planos de geofísica. Uno de los planos contiene las líneas de investigación del banco 3 (Megarrizaduras) y los otros dos reproducen las batimetrías y espesores de sedimentos (isopacas) de los bancos 3 y 4 (La Ollita) respectivamente. Ya se comentaron.

La Carpeta de planos de geofísica tiene una figura con varias imágenes y esquemas explicativos de la investigación sismoacústica y otros planos. Los otros planos de la carpeta de geofísica contienen información completa de todo el estudio sismoacústico y sedimentológico anterior a la fase final: ocho planos están en Autocad.-

- El plano 1 muestra las líneas de estudio de la zona 1: Frente Playero
- El plano 2 muestra las líneas de estudio de la zona 2: Frente Marino Islas Mujeres
- El plano 3 muestra las líneas de estudio de la zona 3: Área Norte Isla Mujeres
- El plano 4 muestra las líneas de estudio de la zona 4: Frente Marino Isla Contoy
- El plano 5 muestra las líneas de estudio de la zona 5: Área Interna de Isla Mujeres
- El plano 6 muestra las líneas de estudio de todas las zonas

- El plano 7 muestra los espesores de zona 1.- Se señalan valores nulos o relativamente reducidos. En general, aparece la roca o los sedimentos están en espesores inferiores de 1.5 m. por debajo de los 15 m. de profundidad.
- El plano 8 muestra los espesores de zona 2.- Los lentejones de sedimentos son aún menores que en la zona 1, aflorando el fondo rocoso con carácter general. Hay que sospechar que los sonogramas tienen un umbral de determinación que ignora espesores de sedimentos inferiores al mismo, por lo que los valores de  $\underline{0}$  en la determinación de espesores deben admitir la presencia de algunos centímetros de sedimentos que, ciertamente no son significativos para la extracción, pero que tienen significación ecológica y sedimentológica.

Dos planos más están en Surfer, son el 9 y el 10, y son respectivamente los de isopacas (espesores) e isobatas de la zona 3 de los expuestos. Según se dice se obtuvieron los datos geofísicos el 12 de Septiembre de 2003.

No hay que insistir en que este material tiene un valor de investigación y para el conocimiento geomorfológico que excede los objetivos de este Dictamen, y que la brevedad con que aquí se refiere no hace justicia ese valor objetivo.

Por su parte las especificaciones técnicas, tanto particulares como generales, son oportunas aunque deberán desarrollar más en el Proyecto ejecutivo.

## CAPITULO V.- ESTUDIOS TRAS EL IVAN

Inmediatamente después de ocurrido el temporal de oleaje producido por el huracán Iván el autor de este Dictamen realizó una visita de reconocimiento de la zona (18-20 Septiembre) y estaban iniciándose unos trabajos topográficos y batimétricos. En el momento de terminar el Dictamen, a mediados de noviembre, se reciben unos documentos gráficos y numéricos con los cambios producidos en la línea de costa por dicho temporal en relación con la determinada en Marzo del mismo año y con las de otras tres momentos desde 1984. Aún no se ha completado la batimetría por falta de recursos, según la información recibida.

Aunque probablemente excede el plan del presente estudio-dictamen, habida cuenta de lo que el análisis de la información disponible de los trabajos referidos puede aportar a los objetivos y al fin primordial de aquél se incluye este Capítulo en el que se analiza la información disponible al respecto hasta el momento de entregar el Dictamen.



**Trabajos de Topografía en playas de Cancún, a finales de Septiembre de 2004, tras el paso del huracán Iván.**

## V.1 ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE COSTA

Uno de los documentos referidos como recibidos en Noviembre en el párrafo anterior contiene una tabla con los cambios de la anchura de playa seca en doce secciones (Tabla 1). El otro contiene los doce croquis con la representación de los doce tramos correspondientes. Como se ha expuesto, sólo se contienen datos de los cambios en la línea de costa y se analizan en este epígrafe. Queda para posteriores epígrafes, en su caso, el análisis de la documentación adicional que se reciba en tiempo y forma.

### V.1.1 OBSERVACIONES SOBRE LA TABLA 1.

Elaborada tras los efectos del temporal causado por el huracán IVAN (Septiembre 2004). La tabla se configura a raíz de la batimetría realizada, con la misma referenciación que las anteriores, inmediatamente después de sucedido el Iván. El temporal sin embargo había producido daños en las referencias y, aunque con algún día tranquilo, el tiempo no favorecía los trabajos, que como consecuencia se demoraron. De hecho la Tabla, recibida el 6 de Noviembre, se refiere sólo a los cambios en la línea de costa. Se acompaña del croquis del entorno de la sección 1, cerca de la Punta Cancún, aunque libre del efecto de abrigo y no muy afectada ya por el efecto de apoyo de la citada Punta. Se recogen en la tabla las anchuras de playa desde la línea de hoteles a la de costa en los levantamientos de 1984 (antes del Gilberto), 1993, 2000, 2004 y 2004, Septiembre (tras el Iván). No están los del 2001 y 2003. Lo más relevante a efectos prácticos en el momento actual es que la playa desapareció absolutamente en importantes y muy significativos tramos y que en los demás también puede considerarse que la situación es de “retroceso libre”. Las actuaciones de regeneración son absolutamente necesarias y urgentes siendo más relevante este hecho que el tipo de solución que se adopte. Sin embargo procede realizar algunas observaciones sobre los datos de la tabla.

**Tabla 1**

**Distancia entre el límite de propiedad privada y la línea de costa en metros**

Sección Revisada	Línea en 1984	Línea en 1993	Línea en 2000	Línea en 2004	Línea en el 2004 D. I.	Pérdida total 1984-2004
1	27.15	23.58	17.44	17.04	0.00	<b>27.15</b>
2	39.74	0.83	11.77	1.92	0.00	<b>39.74</b>
3	36.91	6.75	23.13	20.90	8.45	<b>28.46</b>
4	45.94	5.10	32.73	31.24	14.40	<b>31.54</b>
5	34.63	1.68	30.42	29.11	9.40	<b>25.23</b>
6	33.46	9.04	27.90	26.27	8.47	<b>24.99</b>
7	28.00	7.51	26.37	26.18	14.89	<b>13.11</b>
8	23.63	3.16	21.71	21.67	15.42	<b>8.21</b>
9	20.75	8.69	17.74	14.92	1.76	<b>18.99</b>
10	20.48	6.81	14.78	12.49	1.69	<b>18.79</b>
11	20.98	7.80	16.31	10.69	1.86	<b>19.12</b>
12	37.62	5.15	22.54	14.82	14.54	<b>23.08</b>

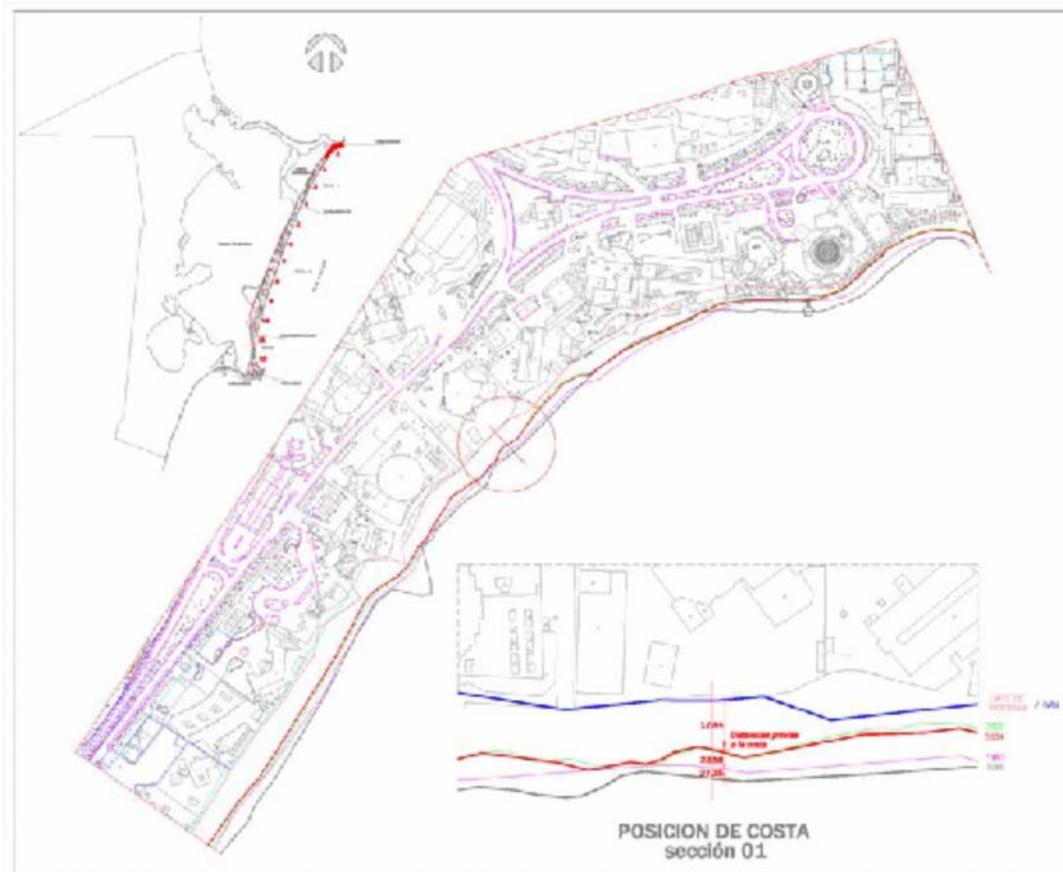
La primera observación es que la batimetría de 1993 no recoge los efectos del Gilberto, ocurrido en 1988. Los trabajos de la UNAM (1989-1991) ponían en evidencia una recuperación en los primeros años que le llevó a suponer que en 16 años estarían recuperados sus efectos (recuérdese que éstos no sólo se debieron a los enormes oleajes de temporal sino a la fuerte sobreelevación barométrica y de viento, que con el Iván fue muy inferior), de modo que en 1993 esta recuperación había continuado aunque estuviera a punto de agotarse (de hecho, cuando se comenzaron de nuevo los estudios en 1999, por la CFE, ya era evidente que había vuelto el retroceso de la línea de costa a los niveles de los ocasionados por el Gilberto).

La segunda observación es que la sección 1 se recupera más que las demás tras cada suceso de erosión brusca porque el régimen medio cursa con un transporte longitudinal neto hacia Punta Cancún, cuyo efecto apoyo permite esa recuperación. Lo que no obsta para que, inmediatamente tras un gran temporal -vía transporte transversal y paso por delante y a través de la punta Cancún-, su retroceso puede ser (como lo fue ahora) máximo, pudiendo quedar afectado por esa mayor erosión un largo tramo desde Punta Cancún hacia el sur (en este caso del IVAN, hasta casi la sección 3 desapareció toda la playa, y hubiera sin duda retrocedido más la línea de costa en ese tramo de haber habido más anchura de playa).

La tercera observación es que parece que en Punta Nizuc -en sus proximidades- la recuperación es rápida y/o el retroceso menor, lo que no puede aceptarse lógicamente; la realidad debe ser que por delante de Punta Nizuc es por donde principalmente se alimenta la playa en su conjunto, más allá de las aportaciones transversales procedentes de los arrecifes, y que probablemente, la sección 12 queda bajo la influencia del efecto de abrigo de la punta, lo cual resulta evidente de la comparación de las anchuras en 2004, antes y después del IVAN: el temporal causado por éste tuvo componente del Sureste con fuerte transporte hacia punta Cancún, fuerte entrada por punta Nizuc, y expansión lateral hacia ésta. Lo que sin embargo no impidió que, inmediatamente a continuación hacia el norte del tramo de playa “beneficiado” por esa expansión lateral por efecto “abrigo”, y precisamente a consecuencia de éllo, el retroceso alcanzase con el Iván valores casi máximos en un largo tramo (entre las secciones 12 y 8); no obstante, la observación de este mismo tramo entre 1984 y 2004 indica que su recuperación es la primera en producirse de toda la playa, precisamente porque por el sur viene la alimentación principal de la misma en régimen ordinario de oleajes.

Finalmente, entre las secciones 6 y 9, mayormente entre las 7 y 8, se manifiestan las mejores condiciones de estabilidad, sin duda vinculadas a la menor frecuencia de edificios -esto es, menor invasión de la playa y de sus dunas y mejores condiciones de circulación subaérea “natural” de los sedimentos-. De donde se deduce que la playa debe acrecerse, para unas condiciones óptimas de estabilidad -no necesariamente de explotación- bastante más de los 60 metros, en orden a permitir una regeneración “natural” de un cordón dunar amortiguador de las acciones erosivas crónicas y agudas, y a reducir el efecto multiplicador de las erosiones naturales que produce la barrera de construcciones tan próximas a la línea de costa. Obviamente esto no puede ser solución al problema ya, pero es bueno que sea la auténtica referencia para la solución final.

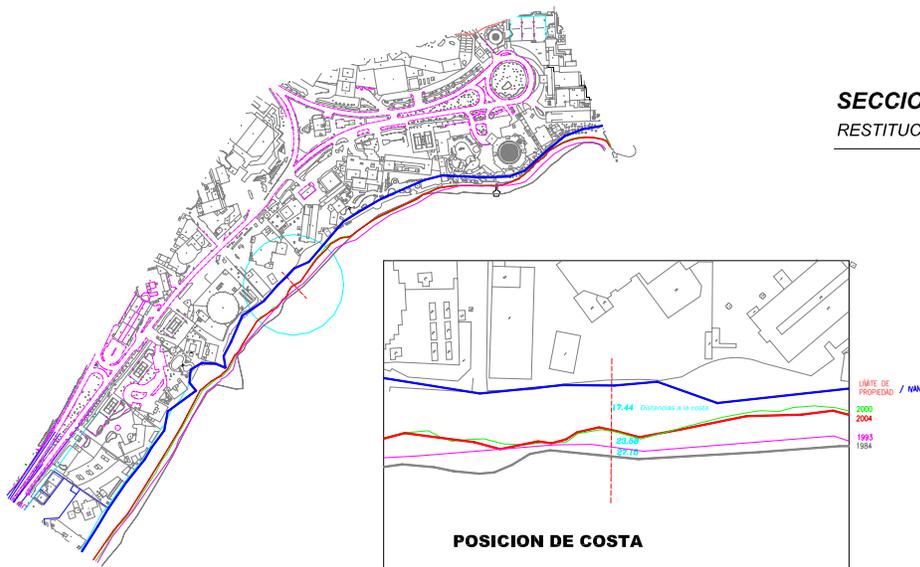
#### V.1.2 ANALISIS DE LA LÍNEA DE COSTA EN TORNO A LAS 12 SECCIONES DE REFERENCIA.



La Tabla 1 referida en el epígrafe anterior recoge los datos de avance y retroceso de la línea de costa en 12 secciones de referencia separadas aproximadamente un kilómetro. Los esquemas en planta se recogen en otro documento gráfico elaborado en Noviembre. Aunque se acompaña de toda la información urbanístico-topológica, no se identifican los elementos topográficos al no venir croquizado ninguno y carecer de topografía y batimetría alguna. Eso limita las posibilidades de la discusión investigadora de la información, que en todo caso nunca tendría el potencial de la de los perfiles transversales y su evolución. Se trata por tanto aquí que intentar descubrir los datos más relevantes, y no sólo en cada una de las secciones de referencia, que ya se vieron en el epígrafe anterior, sino en el entorno de las mismas y con las limitaciones expuestas. Y respecto de las líneas de costa en los años 1983, 1993, 2000, 2004 (Marzo) y 2004 (Septiembre)

- En la sección 01 el retroceso habido se ha mostrado en todas las ocasiones. Sorprende la estabilidad entre 2000 y 2004 y es alarmante la pérdida total en 2004 con el Iván. Todo ello se muestra en todos los puntos a un lado y otro de la sección en unos 100 metros a lo largo de la

costa. Y no se observan excepciones a ello en un entorno de un kilómetro afectando a la fachada sur de Punta Cancún, aunque los valores de las variaciones van siendo diferentes. Con todo, los caracteres expuestos como más llamativos se mantienen –salvo que en largos tramos la estabilidad entre 2000 y 2004 no es tan absoluta; y que en un par de puntos singulares, donde la propia línea de costa es rocosa, la magnitud de los retrocesos se atempera por la resistencia del propio arrecife costero. En todo caso la erosión del Iván causó un retroceso mayor que el neto desde 1984 en prácticamente toda la longitud del tramo. A observar que en 1993, el efecto de apoyo y abrigo de Punta Cancún, había permitido recuperar, tras el Gilberto, más playa de la de 1984 en sus inmediaciones.



**SECCION 01**  
RESTITUCION DE PLAYAS

**SECCION 01**

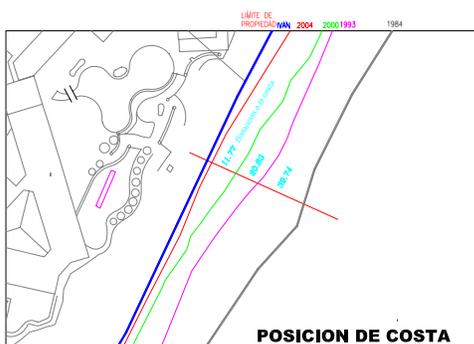
CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	27.15 MTS	0.00 MTS
1993	23.58 MTS	3.57 MTS
2000	17.44 MTS	9.71 MTS
2004	17.04 MTS	10.11 MTS
2004 (IVAN)	0.00 MTS	27.15 MTS

- En la sección 02, sin embargo el retroceso con el Iván fue pequeño frente a los anteriores, pero es que prácticamente no había ya playa seca. Es aquí donde el retroceso se muestra muy persistente desde el origen, perdiéndose casi la mitad de la plataforma seca de la playa en cada período observado, de modo que la recuperación que sucedió al Gilberto sólo alcanzó a la mitad de la

playa seca previa al mismo, y que la reducción entre 2000 y 2004 casi iguala a la del 1993-2000, esto es, con manifiesto acentuamiento del proceso. En el entorno “próximo” de los cien metros las cosas suceden del mismo modo. A mayores distancias se perciben algunos cambios; hacia el norte, por ejemplo, las variaciones suceden con creciente similitud con las de la sección anterior, de modo que el efecto del Iván crece hacia el norte hasta ser el más significativo, y que la apariencia de estabilidad desde el 2000 también es creciente; también hay tramos en que el retroceso entre 1993 y 2000 se reduce o incluso se cambia en avance; todo ello indica que desde esta sección hacia Punta Cancún se recoge, por apoyo en ésta y de acuerdo con el modelo de Pelnard-Considerere, el transporte sólido que viene desde el sur en sus valores netos medios anuales. Hacia el sur sin embargo las cosas suceden como en la propia sección, con variaciones puntuales lógicas, de modo que algunos tramos sí tenían alguna playa seca antes del Iván y que los retrocesos muestran su persistencia creciente desde 1984.



**SECCION 02**  
RESTITUCION DE PLAYAS

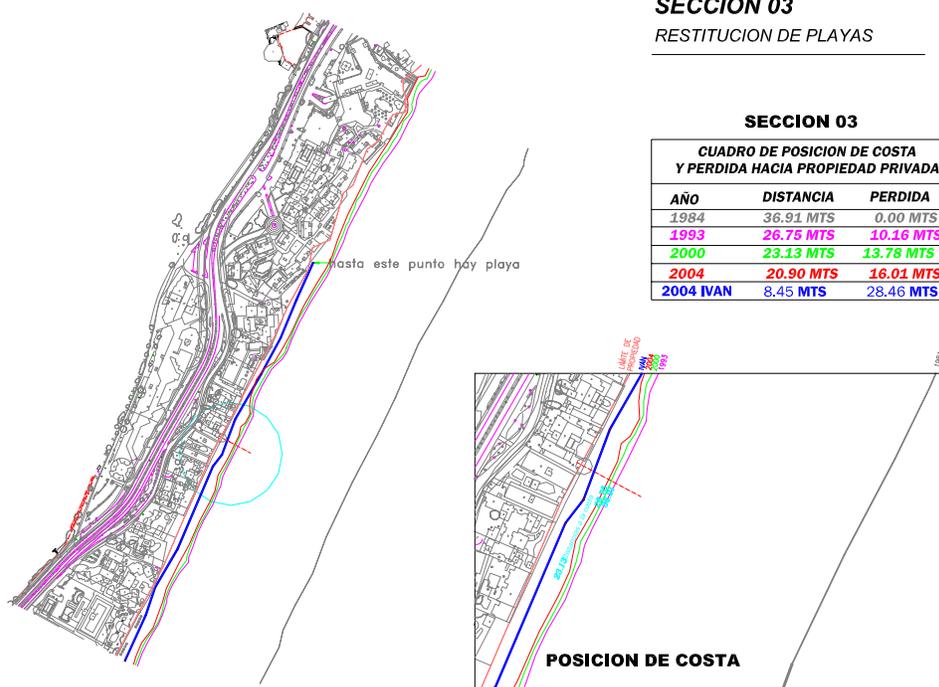


**SECCION 02**

CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	39.74 MTS	0.00 MTS
1993	20.83 MTS	18.91 MTS
2000	11.77 MTS	27.97 MTS
2004	1.92 MTS	37.82 MTS
2004 IVAN	0.00 MTS	39.74 MTS

- En la sección 03 la erosión del Iván no consigue acabar con la playa seca, aunque el retroceso es notorio (más de la mitad de la misma); pero el resto de las características con los que éste se ha producido desde 1984 es semejante: progresivamente acentuado. Sin embargo se puede ver que el efecto de apoyo (el de abrigo ya no existe a esa latitud) de la Punta Cancún es ya reducido (modelo de Pelnard-Considerere), de modo que la recuperación tras el Gilberto (1993) ya no es tan significativa, y que la posición de la playa no recupera ni de lejos la que tenía antes (1984). (Debe

observarse que en el croquis la posición de la línea en 1984 está equivocadamente alejada. Debe revisarse el croquis). En el entorno cercano (100 m.) de la sección los procesos han sido muy semejantes, y lo mismo sucede en el entorno lejano hacia el sur (siempre con retrocesos crecientes esto es, el retroceso anual desde 2000 al 2004 es mayor que el desde 1993 a 2000, y entre 1984 y 1993, se produjo el factor Gilberto, que lo encubre); sin embargo hacia el norte a) hay un tramo de unos 50 m. en el que no se produjo retroceso con el Iván, y b) más allá el retroceso se muestra también y, a partir de los 400 metros aproximadamente, la playa seca desapareció tras el Iván, con anchuras previas, si bien muy reducidas en los puntos más alejados, importantes en algunos tramos (entre los cien y los 500 metros al norte de la sección, más o menos). Tendría interés, aunque secundario a los efectos de este trabajo, investigar las razones de a), imposible de realizar con el mero croquis, pero las de b) están en que ahí se encuentra el límite del tramo norte afectado por el trasvase de arenas por delante de la Punta Cancún en temporales.



- En la Sección 04 los procesos han sido análogos a los de la sección anterior: recuperación pero insuficiente tras el Gilberto, erosión importante pero no completa durante el temporal del Iván, retrocesos persistentes (aunque no siempre crecientes en esta sección) desde 1984 y mantenimiento de playa seca (14.40 m. aquí) incluso tras el Iván. En su entorno próximo ( $\approx$  100 metros) se encuentra un punto al sur en el que de nuevo el Iván no produjo retroceso de la línea de costa (y hay otros dos puntos en el entorno lejano 400 y 500 m. al sur en los que es pequeña sin llegar a anularse); estos fenómenos puntuales, iguales al expuesto en el entorno de la sección anterior, tienen interés pero requiere reconocer el terreno en detalle; no es posible explicarlos con sólo los croquis. El resto del entorno mantiene las condiciones y circunstancias del tramo sur de la sección anterior.

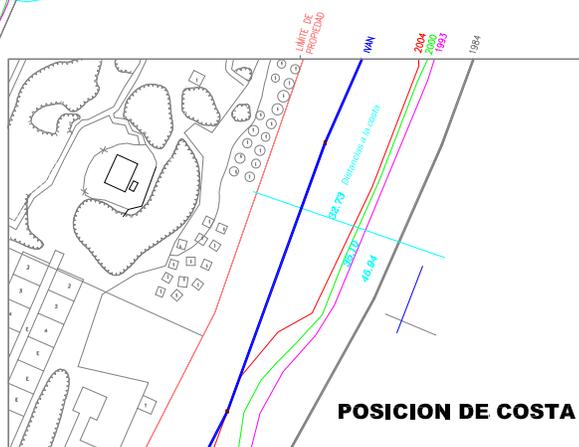
**SECCION 04**  
RESTITUCION DE PLAYAS



**SECCION 04**

**CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA**

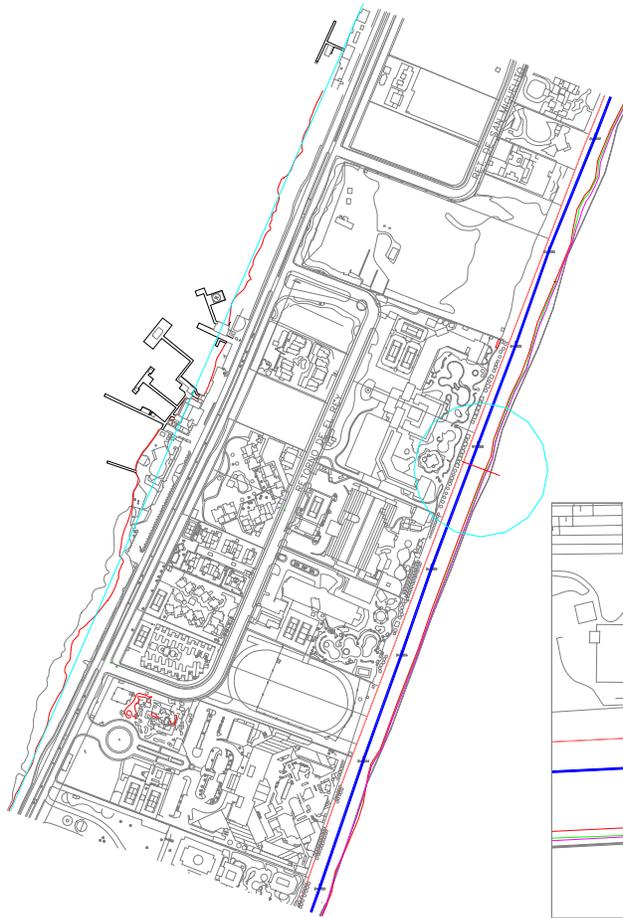
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	45.94 MTS	0.00 MTS
1993	35.10 MTS	10.84 MTS
2000	32.73 MTS	13.21 MTS
2004	31.24 MTS	14.7 MTS
2004 IVAN	14.40 MTS	31.54 MTS



**POSICION DE COSTA**

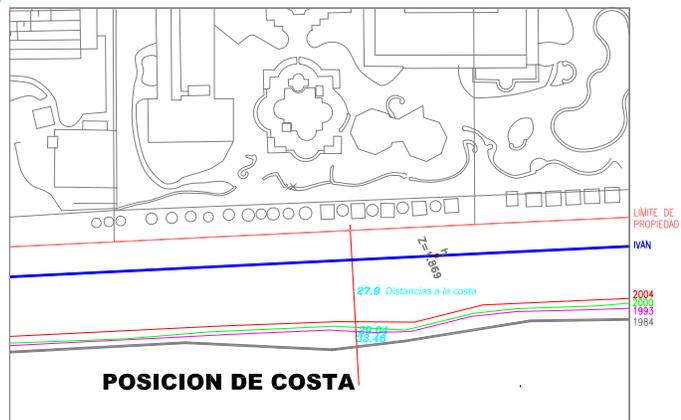
- En la sección 05, tanto en la propia sección como en sus entornos próximo y lejano, las cosas han sucedido en forma análoga a la sección anterior por lo que no ha lugar a comentarios especiales y lo mismo puede aducirse en lo fundamental respecto de la sección 06, aunque en la mitad sur del entorno lejano de ésta se pueden ver algunos avances de la línea de costa entre 1993 y 2000, e incluso un avance persistente desde 1984 en un tramo de unos cien metros a unos 300 metros al sur de la sección, siendo un tramo en el que se puede decir que hubo una cierta tendencia a la estabilidad, al menos de resistencia a la erosión de la playa seca, desde el Gilberto hasta el Iván. Y esta evolución del tramo 06 sur se mantiene, con algunos matices a lo largo de todos los tramos que incluyen las secciones 07 y 08 y sus entornos, en la segunda con algunas inversiones más relevantes incluso; además los efectos del Iván son menos importantes, mientras que la estabilidad y avances en distintas etapas entre 1984 y 2004 (Marzo) son muy notorias en muchos de sus tramos.

**SECCION 06**  
RESTITUCION DE PLAYAS



**SECCION 06**

CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	33.46 MTS	0.00 MTS
1993	29.04 MTS	4.42 MTS
2000	27.9 MTS	5.56 MTS
2004	26.27 MTS	7.19 MTS
2004 IVAN	8.47 MTS	24.99 MTS



- En la sección 09 vuelven a cambiar las cosas. Cerca de esta sección se encuentra ya la zona de dunas y sin embargo la acción del Iván ya llevó la línea de costa por detrás de la curva de nivel que en tiempos señalaba el alcance de la duna en la parte norte del tramo entorno a esta sección. En la sección misma la playa seca llegó casi a desaparecer también (menos de 2 metros) tras el Iván, y el retroceso de la línea de costa nuevamente se muestra progresivamente creciente desde 1984, si bien seguramente por la proximidad de la duna, reguladora, se ha producido en forma muy atemperada hasta la ocurrencia del Iván. En su entorno próximo sucede lo mismo, y en su entorno lejano se observa una evolución desde las características evolutivas y de estabilidad de las secciones anteriores, que se manifiesta en el norte de este tramo, a las condiciones de nuevo progresivamente reductoras de playa seca que se manifiestan crecientemente hacia el sur del mismo.

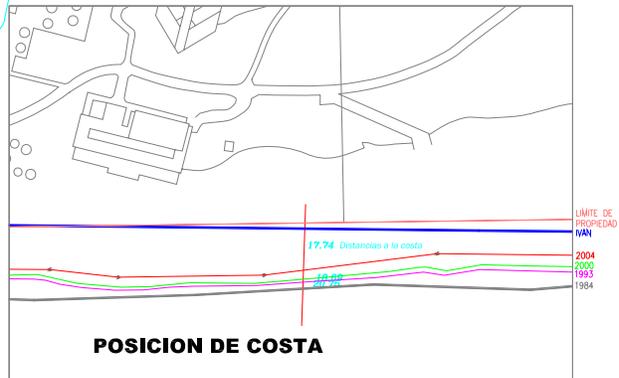
**SECCION 09**  
RESTITUCION DE PLAYAS



**SECCION 09**

CUADRO DE POSICION DE COSTA  
Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA

AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	20.75 MTS	0.00 MTS
1993	18.69 MTS	2.06 MTS
2000	17.74 MTS	3.01 MTS
2004	14.92 MTS	5.83 MTS
2004 IVAN	1.76 MTS	18.99 MTS



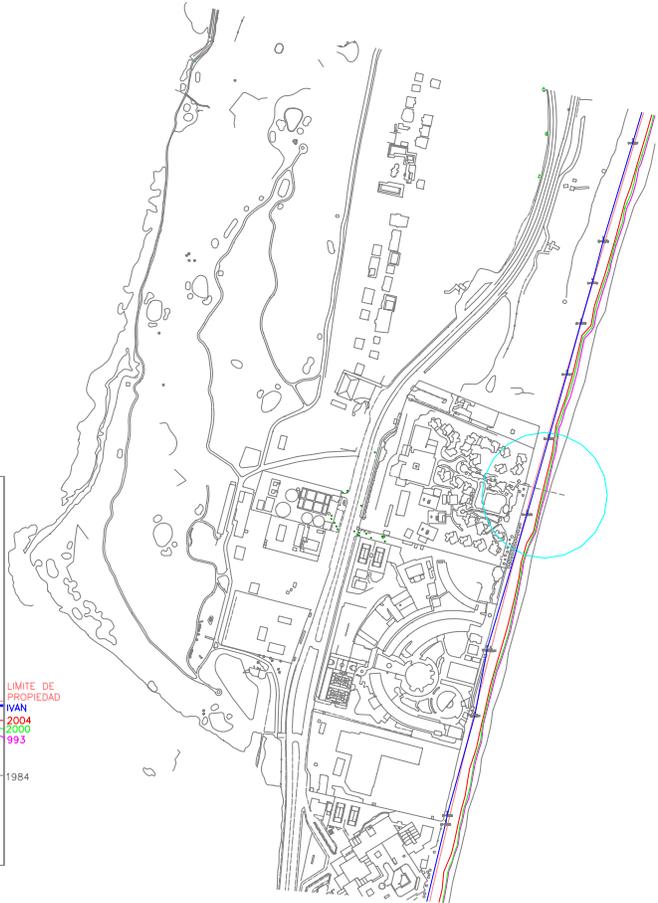
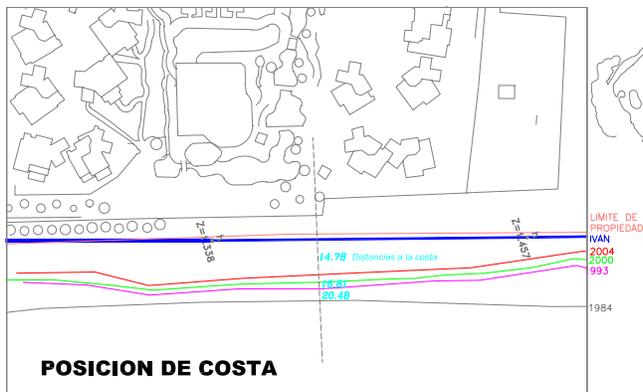
- En la sección 10 continúan evolucionando los procesos de la misma manera descrita en la sección anterior, pero con crecientes tasas anuales de retroceso de la línea de costa hasta alcanzar, tras el Iván, una situación casi idéntica (menos de dos metros de playa seca) a la de aquélla. Y, dentro de la variabilidad a lo largo de la costa propia de los procesos litorales en playas rectilíneas pero con ocupaciones de la costa también en variación discontinua, en el entorno de la sección, tanto en el próximo ( $\approx 100$  m) como en el lejano ( $\approx 1000$  m), las características de la evolución de la costa siguen siendo también las mismas que en el tramo anterior. Algunas angulosidades deben obedecer a singularidades topológicas que no se perciben en este tipo de información, su interés es sobre todo para la investigación, pero se citan como llamada de atención.

## SECCION 10

### RESTITUCION DE PLAYAS

#### SECCION 10

CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	20.48 MTS	0.00 MTS
1993	16.81 MTS	3.67 MTS
2000	14.78 MTS	5.70 MTS
2004	12.49 MTS	7.99 MTS
2004 IVAN	1.69 MTS	18.79 MTS



- En la sección 11, la evolución puede considerarse intermedia de las 09 y 10 hasta el año 2000, pero se acentúa el retroceso respecto de éstas últimas desde entonces; con todo, resistió como ellos el abordaje del Iván. En su entorno próximo las cosas se aprecian mejor que en sólo una sección: el retroceso hasta 1993 se mantiene en lo esencial, aunque de nuevo se percibe una reducción respecto a los de las secciones anteriores, y eso se observa aún mejor en el entorno lejano, en el que ese retroceso va reduciéndose de norte a sur de forma muy paulatina (debe considerarse consecuencia de los efectos de abrigo y de apoyo de Punta Nizuc y de que la alimentación del tramo se provea principalmente desde el sur por delante de dicha punta). Todo el entorno lejano y próximo, tiene una marcada “estabilidad” (en cuanto a la línea de costa, por supuesto). [El problema con el que uno se encuentra en esta zona es con una nueva línea “fucsia”, muy cerca de la azul que representa la línea de costa actual, que induce a confusión sobre cuál es la auténtica línea de costa del año 1993. Se da por supuesto que es la exterior que en las secciones 10 y 11 tiene un color más rojo y que la línea citada más interior es la línea de propiedades en esos tramos en los que aparece, detectando retrocesos tras el Iván más atrás de esa línea], estabilidad

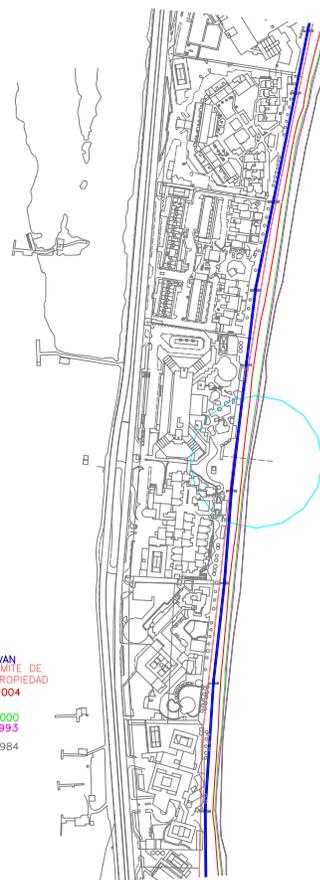
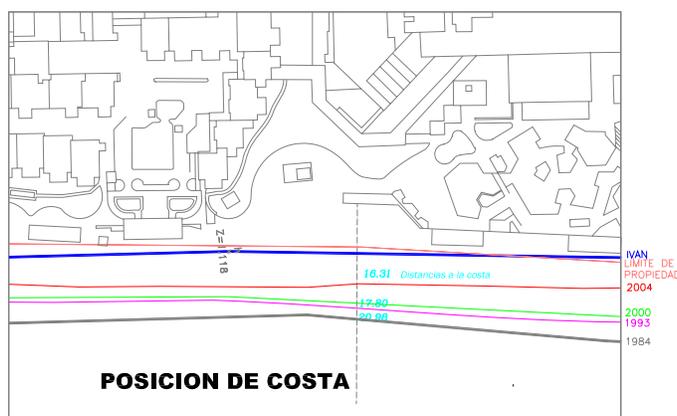
que se deriva, en su caso, de los efectos de la Punta Nizuc también. Pero en cualquier caso, el temporal del Iván arrasó la playa seca en la mayor parte de este tramo.

## SECCION 11

### RESTITUCION DE PLAYAS

#### SECCION 11

CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	20.98 MTS	0.00 MTS
1993	17.80 MTS	3.18 MTS
2000	16.31 MTS	4.67 MTS
2004	10.69 MTS	10.29 MTS
2004 IVAN	1.86 MTS	19.12 MTS



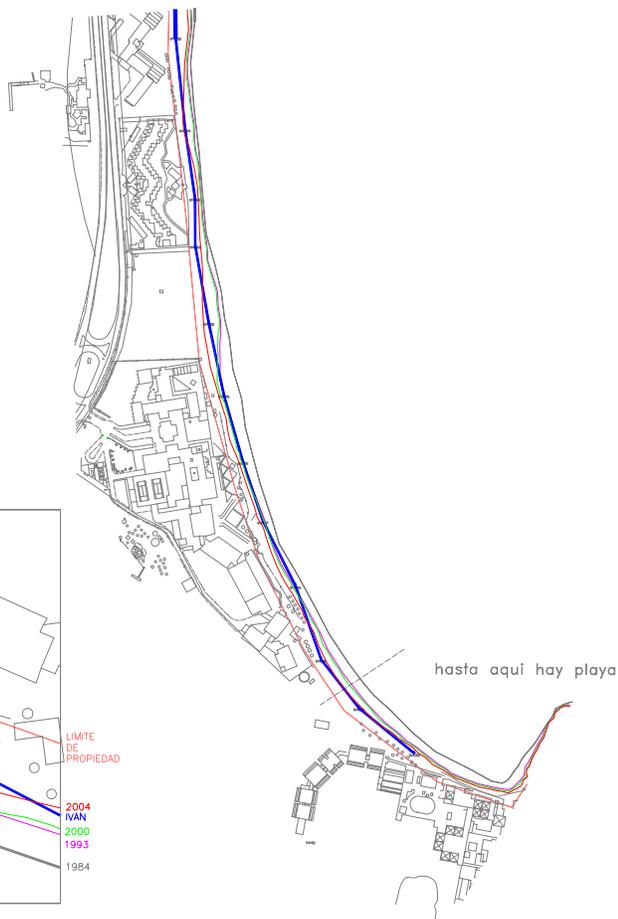
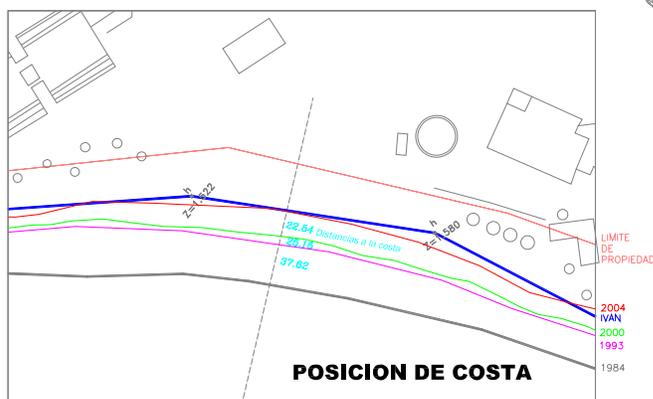
- En la sección 12 el retroceso del Iván es nulo, pero es consecuencia de que su incidencia del sudeste permitió propagaciones adecuadas para mantener estable la zona abrigada por la Punta Nizuc a pesar de que la componente transversal del oleaje y del transporte hubo de modificar el perfil transversal notablemente y extraer arenas de la playa seca. De hecho, observando el entorno de la sección hacia el norte se ve que se produjo avance respecto a Marzo de 2004, y también respecto de 2000, incluso de 1993, en algún tramo. No hay duda de las causas. Más al norte, empero, al salir del efecto del abrigo citado, se va encontrando la misma evolución que en los tramos anteriores y que en la propia sección, de modo que el efecto Iván se hace patente. Sin embargo da toda la impresión de que la línea de propiedades quedó en este tramo respetada y sin afectar por este retroceso, y pudiera atribuirse a que el desarrollo urbanístico de este extremo sur del tramo es más reciente y a que el deslinde ha sido más respetuoso con la playa y acorde con la realidad de los procesos litorales que en el resto de la playa y, sobre todo, en su mitad norte.

## SECCION 12

### RESTITUCION DE PLAYAS

### SECCION 12

CUADRO DE POSICION DE COSTA Y PERDIDA HACIA PROPIEDAD PRIVADA		
AÑO	DISTANCIA	PERDIDA
1984	37.62 MTS	0.00 MTS
1993	25.15 MTS	12.47 MTS
2000	22.54 MTS	15.08 MTS
2004	14.82 MTS	22.80 MTS
2004 IVAN	14.54 MTS	23.08 MTS



- **CONCLUSION.** Este análisis es consistente en ambos epígrafes y pone en evidencia:
- 1.- El retroceso es persistente y creciente desde 1984 con carácter general.
  - 2.- El Gilberto y el Iván son episodios bruscos de recuperación limitada a la disponibilidad de sedimentos en la playa. Tas el Gilberto, su relativa abundancia permitió incluso engañar a los estudiosos, pero en el momento actual la recuperación está muy limitada.
  - 3.- Las pérdidas longitudinales son mayores que las transversales, pero cuando éstas se generan en un gran temporal con sobreelevación (caso Gilberto) terminan conduciendo a pérdidas longitudinales diferidas.
  - 4.- Los efectos de apoyo y de abrigo de ambas Puntas son evidentes pero insuficientes para garantizar la permanencia indefinida de los sedimentos.
  - 5.- Las pérdidas principales son por delante y a través de Punta Cancún y la alimentación por delante de Punta Nizuc. Y eso durante todo el período 1984-2004.
  - 6.- Y, sobre todo, la situación de erosión actual es ultracrítica para el uso y permanencia de la playa en el momento actual y en el futuro.

## VI.- APENDICE JUSTIFICATIVO Y METODOLÓGICO

El desarrollo de los pueblos permitido por el del comercio internacional está conduciendo al crecimiento y transformación de los Puertos como principales medios del transbordo de las mercancías y el de las costas con ocupación intensiva y extensiva de las mismas. Pero también al de otras infraestructuras en la costa (zonas logísticas litorales y otros tipos de puertos e instalaciones) y en el mar abierto (instalaciones y estructuras off-shore). Ello ha supuesto la diversificación y cambio de escala de muchas estructuras de diferentes tipos, en función del tipo y características de los puertos (interiores o exteriores, de tráfico general o de tráficos específicos, vinculados a la costa o establecidos en mar abierto, y de sus necesidades de mayor o menor abrigo frente a las acciones del clima marítimo). También de la naturaleza de las propias estructuras que afecte a las variables intrínsecas para su diseño y proyecto (según que sean rígidas -de fallo brusco- o deformables -de fallo diferido y parcial- o de que tengan una respuesta más o menos elástica).

Pero esta misma evolución conduce a una intensa ocupación de la costa que induce regresiones en las playas inicialmente defendidas con estructuras costeras y a que, incluso en los puertos nacidos como interiores, en estuarios o en los cauces fluviales, se termina requiriendo obras o estructuras con requerimientos de estabilidad frente a casi todas las acciones del clima marítimo y, particularmente, frente al oleaje, que se puede considerar como lo más crítico desde el criterio general. Sin embargo también conduce a crecientes interferencias ambientales, de modo que tales estructuras inducen respuestas del medio al mismo clima marítimo que terminan por condicionar el comportamiento, y por tanto el éxito funcional, de las propias estructuras. El clima marítimo es así relevante para el diseño en todas sus fases, y no sólo en las de cálculo y proyecto, de las obras y estructuras marítimas y costeras, y no sólo en las estrictamente portuarias, tanto por razones de estabilidad frente a sus acciones como para conseguir el mínimo impacto adverso o el máximo conservativo /transformativo sobre el medio ambiente, esto es, la máxima sostenibilidad, en términos tan recurridos hoy... y tan retóricamente empleados.

El Clima Marítimo es parte del Clima, y éste es la consecuencia del funcionamiento de la Máquina Térmica que se establece con el soporte matérico de la Atmósfera y los Océanos y con la aportación térmica de la energía solar (radiante). Esta “máquina” genera en océanos y costas tres tipos de fenómenos: viento -que, a su vez genera oleajes, mareas meteorológicas y corrientes-, oleajes y variaciones de niveles. Los vientos constituyen esfuerzos relativamente menores pero algunas estructuras portuarias, sometidas a empujes de superestructuras flotantes o fijas, no pueden dejar de tenerlas en consideración; en las estructuras off-shore los esfuerzos del viento siempre son apreciables. Pero la importancia del viento se agiganta en las áreas (Caribe, mar de la China, etc.), en que los ciclones son de reducida dimensión horizontal (huracanes, tifones), cuando generan velocidades muy altas y esfuerzos extraordinarios aunque locales; efecto adicional producen a través de los oleajes y las sobreelevaciones que ocasionan; los oleajes afectan sobre todo a la estabilidad de las estructuras, y los niveles a la funcionalidad de las mismas, pero ambos a la respuesta de las costas y de sus procesos. En todo caso los huracanes son fenómenos diferentes de los ciclones extratropicales y sus análisis deben diferenciarse.

Las estructuras/obras portuarias/costeras sufren las acciones del clima marítimo pero también interfieren con ellas de modo que las respuestas morfodinámicas de las costas a dichas acciones “fluidodinámicas”, se ven afectados por la presencia de las estructuras. De ahí se derivan cambios sustanciales en los procesos litorales que conducen a impactos ambientales indeseables. En un buen diseño se trata no sólo de

establecer la estructura funcional y resistente sino la que induce cambios ambientales en los procesos litorales beneficiosos para los ecosistemas, en sus playas, en su economía y en su ecología.

La importancia del conocimiento del Clima Marítimo emergió ya en el siglo XIX, aunque no ha lugar aquí a recordar a Maury y su determinación de establecer una red de medidas en todos los océanos de los parámetros climático-oceanográficos. Pero a principios del siglo XX ya existían algunas fórmulas para estimar la altura de ola de cálculo de estructuras (Stephenson); la más eficiente la logró IRIBARREN,  $H_s = \sqrt[4]{F}$ ; fue el período empírico→determinista. Datos válidos para diques de escollera fracasaron en diques verticales, de ahí que se impusiera distinguir en función de la forma de comportarse la estructura (S. Bores, Borgman, etc.). El desarrollo de la estadística y de los procesos estocásticos, y el mejor conocimiento de los procesos de viento y de oleaje (Philips, Miles, Pearson, Longenet-Higgins, Saville, S. Bores, etc.) llevaron a establecer una altura de ola de cálculo/diseño dependiente de la estructura y de su comportamiento ( $H_s$ ,  $H_{1/N}$ ,  $H_{m\acute{a}x}$ ,  $N$ ) y del clima (período de retorno, que llevó a estudiar los regímenes extremales). El espectro del oleaje de cálculo quedó relegado hasta que el peralte de las olas y el talud de las obras mostraron su influencia en el comportamiento ( $N^\circ$  IR.), lo que condujo a una mejor investigación de los espectros de los temporales. Los períodos comenzaron a ser determinantes en algunos diseños. Pero algunos fracasos notorios (Sines, Bilbao, San Ciprián) llevaron a tomar en consideración la duración de los temporales ( $n^\circ$  de olas activas actuando sobre la estructura) (S. Bores, 1977). Se hizo evidente que las variables determinantes de un diseño eran varias, aunque su comportamiento estocástico estuviese vinculado: sus distribuciones estadísticas estaban relacionados: Altura de ola, Período, duración/ $n^\circ$  de olas, etc... El método multivariado de diseño, se impone y mi maestro. Pedro J. Bores debe ser considerado primero y principal impulsor del mismo.

El progreso en las metodologías de cálculo, proyecto y diseño desde el conocimiento de de las variables del clima marítimo y de los parámetros de comportamiento de las estructuras ha sido enorme en los últimos cincuenta años, pero han aparecido dos tipos de precauciones: uno requerido por la necesidad de un mejor conocimiento de las variables del clima, que llevan a intensificar y generalizar las tomas de datos; y otro requerido por el principio de la sostenibilidad de las actuaciones en la costa, sobre todo cuando son importantes, y que pasa por comprobar la afección de los procesos litorales “naturales” debida a las nuevas estructuras. Afortunadamente ambos requerimientos se complementan y la comprobación del segundo sirve para verificar la correcta determinación del primero (véase el Anejo: Metodología para el Estudio y Proyecto de obras Marítimas y Costeras). Su ventaja está en que mediante el estudio de uno se contrasta el otro y recíprocamente.

El buen conocimiento de las variables de diseño requiere un buen sistema de observación/toma de datos. Los registradores de oleajes, en red en torno a un territorio costero, y en profundidades de diseño e indefinidas relacionadas, empieza a ser relevante, sobre todo cuando se pretenden estructuras “costeras” hasta los 25-30 m<sup>2</sup> de profundidad (Bilbao, La Coruña, España). España e Italia en Europa y la Costa Este Americana disponen de esta red. (España ha sido pionera, S.Bores, 1968). Pero constituyen una fuente de información escasa a nivel mundial.

La investigación de las variables de diseño requiere hoy la de las que corresponden a la respuesta del medio, caracterizadoras de los impactos y cambios ambientales, además de las que caracterizan los esfuerzos sobre las estructuras. Es algo que viene impuesto cada vez más por los principios ambientalistas y de la sostenibilidad; ello obliga cada vez más acentuadamente a un estudio exhaustivo del medio para que el diagnóstico de sus alternativas evolutivas sea el marco en el que se desarrolla el diseño topológico,

funcional y resistente de las obras y estructuras portuarias. Pero la verdad es que esta metodología se hurta casi siempre aún: se estudian las variables que originan los esfuerzos y que, en el mejor de los casos, afectan a la funcionalidad de las estructuras y obras portuarias, y después se investigan estrictamente los impactos presumibles. Aún no se ha tomado conciencia de que el conocimiento completo del medio, con su geomorfología, sedimentología y ecología completando el del clima e hidrodinámica, no sólo permite unos mejores cálculo estructural y diseño funcional, sino que permite cerrar un bucle interpretativo de las alternativas evolutivas del medio; de modo que no sólo se puede hacer un mejor diagnóstico previo y un diseño adecuado a la función deseada –mejor concebida así- sino contrastar unos estudios con otros y tener mayor grado de certeza sobre la previsión de los cambios ambientales. Cambios ambientales que pueden así gobernarse desde el propio diseño a la vez que la funcionalidad para las infraestructuras portuarias.

Una gran cantidad de éxitos sólo parciales e, incluso, de fracasos que se puede reseñar en el diseño de las obras portuarias se debe a una deficiente determinación de las variables representativas del oleaje, particularmente, pero también a una insuficiente investigación de otras variables del Clima Marítimo; deficiencias que hubieran podido solventarse de haber estudiado mejor el resto de las variables del medio físico y establecido sin contradicciones la correspondencia entre todas ellas. Esta Metodología, expuesta con detalle en el Anejo, es la única que permite abordar los problemas del diseño de las obras sin correr riesgos de incurrir en el fallo “ambiental” de las mismas, pero también la que permite dar seguridad a la eficacia funcional y resistente de su propio diseño estructural. Así pues, no es sólo por razones ambientales que los estudios deben ser completos y conexos en los datos obtenidos, sino por razones del propio diseño funcional y estructural.

Es a partir de entonces cuando la introducción de los métodos de diseño multivariados tienen un gran potencial, y donde las variables secundarias y su aleatoriedad pueden incluirse con fiabilidad en el cálculo, vinculadas a la principal. Las variables necesarias del oleaje son varias y el período del mismo y la duración del temporal son ya reconocidas como tales; pero otras variables del clima marítimo son escasamente utilizadas a excepción de la del nivel del mar en zonas de fuertes mareas. Es incluso en ellas, se suele restringir a la marea astronómica (no climática) olvidando las mareas meteorológicas (set-up y surging) y el propio viento, excepto cuando se está en zonas de huracanes frecuentes. Estas variables son también relevantes desde el punto de vista ambiental.

## **METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION FINAL DE PROCESO DE LITORALES EN PLANEACION Y DISEÑO DE TRABAJOS COSTEROS**

### **I. INTRODUCCION**

Los principales problemas que la tecnología actual tiene en el campo de Ingeniería oceánica y costera se enfrentan en diferentes trabajos durante el proceso físico para estructuras costeras. Los más recientes avances en esta clase de investigación, por una parte, y el criterio para adaptarlos al ambiente, por otra, serán discutidos, siempre teniendo en cuenta un enfoque relativo al medio ambiente físico.

El propósito de este documento es el seguir las referencias que la planeación física implica -obviando cualquier otra relación con el entorno económico y social-, que aparecen tan solo como una infraestructura de referencias lejanas e impuestas. El objetivo es, por lo tanto, el proponer de manera crítica los estudios que encaminen hacia una adecuada plantación de trabajos costeros y consecuentemente hacia un diseño apropiado, relacionándolo siempre con respecto a la interacción en el medio físico.

El segundo objetivo es el aclarar que las acciones en la costa pueden poseer un carácter particular, de algún modo específico, pero carácter definitivamente importante para el medio ambiente (como en el caso de un puerto de altura), o carácter más común, generalmente más extendido a lo largo de la costa, que incluso puede llegar a tener un impacto discreto. Este último es susceptible para trabajos de defensa y, (salvo algunos casos) apropiado para construcción de infraestructura destinado a promover el desarrollo de circuitos costeros. Este no es siempre el caso, pero no hay mejor prueba de planeación y diseño inadecuado que sus propios resultados inadecuados y no deseados. Ambos son discutidos más adelante.

Finalmente, es conveniente considerar que los trabajos siempre deben ser contemplados desde el punto de vista "funcional", y por su resistencia y durabilidad. Un diseño o planeación pobre resultará en una baja durabilidad y falta de estabilidad, así como en una pobre interrelación dinámica con el entorno. Ambos aspectos serán también estudiados de manera integral en el presente capítulo.

Una vez hecha la referencia de las necesidades que establecen los requisitos de los trabajos, la problemática será contemplada, y un procedimiento de acercamiento, -iniciando con la recolección y análisis de datos- será desarrollado. La discusión y síntesis permitirá establecer modelos de comportamiento y factores para el diseño.

### **II NECESIDADES Y ADECUACIÓN**

La necesidad y conveniencia de un trabajo costero es un hecho previamente solicitado por distintas consideraciones como lo puede ser el punto de vista socioeconómico. Existen, por lo tanto, objetivos que actúan como los demandantes de una acción determinada. La problemática a solucionar es el tipo de trabajos, su definición y diseño correcto, su localización y el procedimiento constructivo, y la planeación de las actividades cuando suponemos un grupo de trabajos independientes pero interrelacionados.

La necesidad o demanda puede surgir de una nueva actividad, - es el caso de la construcción de un nuevo puerto, un promontorio sobre la línea de costa, una playa artificial, etc.-, o por un requerimiento de conservación, defensa o regeneración de costa. Esta demanda, cuantitativamente expresada, impone

condiciones espaciales que son equivalentes a las condicionantes del problema, (dimensión del grupo de trabajos, ocupación costera, áreas de dragado y relleno, profundidad, tipología, y número de instalaciones).

La organización de los trabajos esta condicionada por las características de la costa, clima marino y dinámicas del litoral, y por su morfología y procesos de litoral. Estas características deben ser estudiadas desde tres aspectos diferentes: funcionalidad, impacto y estabilidad. Bajo estos tres aspectos los elementos de condicionamiento primario son equivalentes a las condiciones de los alrededores impuestas al problema. La exactitud en su determinación o evaluación, y por lo tanto en su solución, depende de la planeación. La adecuación funcional supone que un trabajo cumple los requerimientos para los que ha sido concebido, (un rompeolas para un muelle debe de funcionar como tal y no como un espigón de apoyo, y en reciprocidad, por ejemplo, una obra de protección debe de en realidad proteger y no incrementar la agresión producida por las dinámicas de litoral...). La adecuación ambiental supone que su impacto en el medio es nulo o marginal. Funcionalidad y ausencia de impactos negativos son elementos complementarios o, por lo menos, deberían serlo si la necesidad de trabajos costeros ha sido correctamente establecida. Sin embargo, referencias de lo funcional incorporan el análisis de los impactos.

Condiciones de estabilidad, de la misma manera que los dos factores anteriores, va hacia la adecuación de los trabajos pero de un modo distinto. Los anteriores, cuestionan la correlación entre los propósitos y los trabajos; el último, su desempeño independientemente de cualquier otra consideración.

Además de la estructura en si, el clima marino es el principal condicionante de la estabilidad. Otros factores pueden tener una importancia relevante en casos particulares. Pueden existir factores relevantes diversos desde el punto de vista de la funcionalidad que sean diferentes a los del clima marino y de la estructura interna de las obras.

### III DATOS PARA EL PROBLEMA. ANÁLISIS

Será revisada la información que se puede obtener del análisis de seis tipos posibles de observación: Clima, Hidrodinámica, Geología, Geomorfología, Sedimentología, y Ecología Dinámica.

### **III.1.-Clima marino y de litoral**

Agrupar los agentes fundamentales del proceso de litoral y las principales condicionantes de estabilidad y funcionalidad de trabajos costeros. Serán analizados por orden genérico.

a). Viento. Este agente condiciona el establecimiento y diseño de trabajos costeros en dos maneras: directa, actuando sobre la costa, obras y elementos que la usan; e indirecta, como generador de oleaje por viento y corriente. Existen muchas estaciones meteorológicas en áreas costeras que proveen vastas cantidades de información sobre el viento. Las condiciones de homogeneidad son suficientes al permitir, por simple interpolación, el conocimiento de los regímenes de viento en cualquier punto costero, al menos en los países desarrollados.

Una primera dificultad surge al corroborar la validez de dicha información. Desafortunadamente las estaciones costeras son a menudo ubicadas de forma inadecuada, introduciendo imperfecciones temporales o permanentes en estas observaciones. El ejemplo de la estación de Viveros Valencia es paradigmático. Dicha estación está situada cercana a edificaciones altas que han alterado durante varios años el registro de viento desde una determinada dirección.

Una segunda dificultad es la evaluación de la calidad y significado de la información debido a características geográficas y geomorfológicas del entorno en el punto de observación. En todos los casos el registro del viento está condicionado a la brisa, que es importante en relación con el ángulo de contraste marino-continental en cada punto. Hagamos un pequeño ejercicio mental: la brisa constituye un fenómeno común en toda la costa dependiendo de la capacidad calorífica específica del medio marino y el medio continental; vientos de monzón tienen el mismo origen, pero con una periodicidad anual en lugar de una diaria, sin embargo estos solo son significativos en determinadas zonas de nuestro planeta; precisamente donde el contraste marino-continental en una zona costera es muy pronunciado. La intensidad de la brisa puede ser diferente dependiendo de dicho contraste (en su valor medio y evolución a lo largo del año). La dirección de la brisa estará sujeta a la orientación de la línea que define realmente dicho contraste. Esto ha sido ratificado en repetidas ocasiones (I) y sin embargo no se ha considerado en estudios primarios de diseño para trabajos o acciones en áreas costeras.

Una tercera dificultad consiste en determinar si la información proveniente de observatorios costeros es o no apropiada para su empleo en una acción determinada. Este tema no es trivial, ya que la información se ha empleado e interpretado de manera errónea. En general, estos valores se emplean en su totalidad para determinar la acción inmediata del viento en elementos costeros o de litoral, en los usuarios y en oleaje, y también para el estudio de corrientes costeras. Sin embargo estos datos no permiten determinar el oleaje por viento o la generación de tormentas en el área costera, y dichas condiciones son a menudo ignoradas. En documentos presentados en la pasada Conferencia Internacional de Ingeniería Costera (b), la correspondencia entre el régimen de vientos costeros y la distribución de las dunas en un área del Mediterráneo español fueron expuestas.

b) Oleaje por viento. Es el agente fundamental en casi todos los procesos y acciones costeras – de litoral y, consecuentemente, en todos los trabajos costeros que interactúan con el ambiente marino.

La actividad del oleaje por viento se enfoca bajo dos aspectos: su forma, con parámetros como altura y período, y estructura, con parámetros como velocidad orbital y presión instantánea, entre otros. Durante algún tiempo la estimación de los primeros parámetros se llevó a cabo mediante fórmulas empíricas que los relacionaban con el Fetch y vientos extremos. Los segundos parámetros eran determinados mediante modelos de oleaje costero por viento con algo de oleaje por gravedad teórico. En el presente, la primera

serie de parámetros es determinada basándose en un complejo estadístico y metodología de espectro cuyos elementos más importantes son considerados mas adelante. La determinación de la segunda serie de parámetros se continúa realizando mediante la asimilación, aunque es de forma mas variada y sofisticada.

Lo interesante para nosotros aquí es el subrayar que existen dos maneras diferentes de aproximación al problema, dependiendo del tipo de observaciones iniciales. En el primer caso y más antiguo, un pronóstico (“hindcasting”) es llevado a cabo utilizando valores de viento acumulados. En el segundo caso, información obtenida mediante observación directa de oleaje por viento es empleada. Algunos años atrás este segundo camino era inalcanzable debido a la falta de información. Hoy, existen áreas costeras con información registrada que, -cuando los puntos de observación han sido distribuidos de manera apropiada-, es aplicable para cualquier punto dentro de dicha área, con o sin la ayuda de observación complementaria de contrastes contra años anteriores o más. Estas observaciones corresponden a períodos de tiempo suficiente para determinar los regímenes en muy pocos casos, y aún menos para la determinación de regímenes extremos. En la mayoría de los casos de acciones costeras, no existe información o registro de observaciones y su generación en un período de tiempo razonable es impensable. Recientemente, un banco de observaciones visuales, elaborado durante algunos años, ha sido empleado. En el futuro a corto o mediano plazo, con la información acumulada y apropiadamente tratada, la calidad de dichas observaciones se incrementará. Sin embargo no podemos ignorar su propia limitación, subjetividad que afectará su calidad, y la escasa variabilidad de rutas de navegación; en este sentido, aunque se ha logrado un incremento en la calidad mediante la selección y evaluación de las observaciones, existe aún el problema sin solución en áreas que no son próximas a las rutas de navegación comúnmente utilizadas. El recurso de ampliar la zona de observación para obtener suficientes muestras puede guiar hacia una estimación inadecuada en muchos casos, incluso cualitativamente. Los estimados del régimen de oleaje por viento utilizando técnicas de “hindcasting” tiene sin lugar a dudas imprecisiones pero solo de manera cuantitativa, no cualitativa. Dicho problema es de especial significado en estrechos costeros con importantes procesos de refracción y difracción, pero en muchos otros –todos aquellos lejanos de puertos con gran nivel de tráfico- es imposible salvarlo mediante observaciones visuales. La introducción de un modelo de refracción-difracción en la técnica de “hindcasting” puede ser, sin lugar a dudas, el procedimiento más adecuado para la estimación de oleaje por viento en estos casos, junto con el uso de otras técnicas para contrastar los resultados, como se explicará más adelante.

Las observaciones visuales deben ser comparadas inmediatamente con observaciones meteorológicas: el oleaje por viento deberá corresponder con regimenes de viento en las áreas próximas, así como –aunque de mayor dificultad para comparar- con aquellos de las áreas lejanas de generación. En cualquiera de los casos, las observaciones meteorológicas, tanto en tierra como en mar, fueron instrumentadas hacia un objetivo mucho antes, por lo tanto deberán ser más confiables para el análisis.

c) Marejada por tormenta\*. Debido a la circulación atmosférica, el nivel de mar se altera e incrementa, ya sea por sub-presión o fricción por viento. La falta de información es más evidente que en el caso de oleaje por viento y es poco el avance alcanzado en el desarrollo de métodos de estimación. Por lo tanto el conocimiento previamente ajustado sobre el viento (en el océano) y la presión (en la costa), y la evolución general de la circulación atmosférica sigue siendo de especial relevancia para el establecimiento de un punto de partida razonable. Esta problemática se acusa aún más porque, debido a la naturaleza de ambos fenómenos, incrementos al nivel por fricción y la intensificación del oleaje por viento son comúnmente asociadas. En ubicaciones costeras donde la sub-presión sigue a las alteraciones por fricción, este

---

\* Storm surge. Incremento del nivel del mar (crecida) provocado por viento de tormenta.

problema puede incluso acusarse más. La importancia de las “marejadas por tormenta”, combinadas o no con las mareas o el oleaje por viento, ha sido demostrado en múltiples ocasiones (Holanda, 1953, Bangladesh, casi anualmente); y a menor escala, vale mencionar los efectos en la estabilidad de playas artificiales del Mar Menor, Murcia (Octubre, 1982). Por otra parte, la marea es irrelevante para diversos trabajos costeros –cuando las crecidas por tormenta son predominantes o en grandes profundidades- pero pueden condicionar acciones en aguas poco profundas y en costas planas o bajas.

### **III.2.- Hidrodinámica.**

Aunque la adaptación humana ante las mareas es bien conocida de tiempo atrás y, debido a que es un fenómeno predecible, este factor aparente ser de poca importancia, será comentado aquí considerando su influencia en la generación de corrientes en canales de marea (“inlets”). Existen trabajos costeros que por su ubicación son condicionados por dichas corrientes tanto o más que por el oleaje por viento. El nivel de marea puede ser conocido en la mayoría de las costas en cualquier momento y, consecuentemente, el prisma para el calculo de mareas, pero en algunas áreas de costa más irregular, precisamente en donde las mareas pueden estar bajo la influencia de su entorno y de resonancia, un estudio de predicción puede resultar necesario, o por lo menos, una revisión por observación. Con respecto al otro factor que afecta el prisma de mareas y la velocidad de las corrientes –batimetría y topografía-, su variabilidad no puede ser olvidada en el caso de canales de marea arenosos, bocas de río; su influencia en el prisma de mareas solo pudiere ser relevante después de un largo periodo de tiempo, con vaciado y llenado (3). pero la velocidad pudiere alterarse mas rápidamente dependiendo de los cambios morfológicos de los canales.

Las corrientes marinas que participan en la creación de las grandes celdas de circulación oceánica son irrelevantes para trabajos costeros, excluyendo algunas construcciones mar adentro que pudiesen considerarlas. Las corrientes generadas por vientos de litoral son de mayor relevancia que aquellas que acompañan variaciones de nivel generadas por crecientes de tormentas. Estas son importantes en procesos de dispersión de materiales y consecuentemente para el diseño de los trabajos de depósitos, pero mucho menos para el resto de los trabajos costeros considerándolos desde el punto de vista funcional y el de estabilidad, excepto cuando estas corrientes se sobreponen a las corrientes referidas en el capítulo previo y cuando espigones y otras construcciones de canal que pueden influir en corrientes de inundación y refluo estuvieren involucradas.

Corrientes fluviales, responsables de la asimetría en la velocidad entre inundaciones y circulación de refluo, aplicaría para este caso un comentario similar al anterior.

Las corrientes generadas por viento son, en general, las mas importantes para los trabajos costeros, y se relacionan con el fenómeno de transportación de sólidos en el litoral. La determinación de la capacidad de transporte se calcula mediante formulas empíricas, que aunadas a otros parámetros de oleaje por viento, toman en consideración lo oblicuo del oleaje por viento factores de omisión producidos por la alteración del gradiente, que requiere de un análisis puntual. Esta capacidad de transporte se relaciona con la energía del oleaje por viento y por lo tanto con su velocidad total y no solo con su componente paralelo y jun mas con su velocidad instantánea, que con el componente de alta marea. Estas corrientes tienen mayor influencia en la funcionalidad de los trabajos que con la estabilidad, en el sentido que el dato principal no es la velocidad sino su capacidad de transporte. Esto ultimo será discutido mas adelante.

### **III.3.- Geología.**

Estudios geológicos previos afectan la plantación de trabajos costeros desde tres perspectivas: tectónica, estabilidad y sedimentos. Las primeras dos exceden el problema motivo de esta discusión, pero deben ser mencionadas. Las características sismo-tectónicas del territorio en donde la costa esté localizada pueden condicionar no solo el diseño sino también la plantación de trabajos como puertos, defensa o de administración. Sin embargo, para la mayoría de las problemáticas bastaría con obtener información existente. Quizás sea necesario solo para casos particulares elevar a cabo estudios geofísicos y sismológicos específicos. La estabilidad del lecho marino puede ser afectada por su naturaleza y morfología, y las características sedimentarias discutidas mas adelante influyen a ambos. Así también, el génesis geológico de la plataforma continental y terrenos costeros influyen la morfología. Pudiera ser necesario el determinar las cuestas y otras características geotécnicas del lecho marino, profundidad del sustrato o de las capas resistentes y la existencia de fenómenos subsecuentes y de consolidación, con una cierta exactitud.

Las características sedimentarias constituyen un elemento de estudio en la plantación y diseño de trabajos costeros. Estas condicionan la morfología del lecho marino y de la orilla en costas planas, las características geotécnicas de las capas superiores y la existencia de transporte de sólidos y la manera en que ocurre; estos también afectan las condiciones de propagación de oleaje por viento, la generación de corrientes y la reacción de la costa ante estos agentes costeros. Esta importante información será más desarrollada después cuando comentemos los estudios geomorfológicos y sedimentológicos. Por ahora consideraremos los siguientes datos:

-naturaleza y grosor de los sedimentos tomando como punto de partida capa mas recientemente depositada.

-determinación del estrato origen correspondiente al área de actividad. En algunos casos, el dato puede ser esclarecido mediante análisis geológico simple, como en el caso de la Bahía de Guardamar (Alicante, España); pero en otros, estudios geomorfológicos y sedimentológicos son necesarios, como en el Golfo de Valencia.

-la determinación de afloramientos rocosos, estructurales o procedentes de consolidación de sedimentos (formaciones remanentes). La primera proporciona información adicional en otros aspectos geológicos ya contemplados, pero los segundos permiten contrastar la hipótesis establecida para el análisis de la Inter-influencia entre estos procesos y el estatismo y estancamiento.

### **III.4.- Geomorfología**

El análisis morfológico es, además de complementar el geológico y por lo tanto importante para la plantación y el diseño, muy adecuado para el contraste externo de los valores climatológicos expuestos en III.1. Pueden ser verificados con la información de sedimentos comentada al final del siguiente epígrafe.

Los estudios de sedimentos serán considerados en el siguiente epígrafe pero observaciones morfológicas principales serán comentadas ahora: a) topografía y batimetría, b) Cartografía y Documentación, y c) Fotografía y Fotogrametría.

La topografía y batimetría nos permiten no solo el conseguir información referente al emplazamiento de los trabajos, lo cual ha sido discutido, sino también información respecto a sus cambios o diferencias durante un periodo de tiempo determinado. Los perfiles transversales facilitan el estudio de variaciones de temporada, hiper anuales, y variaciones tendenciales tanto del lecho marino como de la silueta de las playas, y mientras mayor el tiempo de experimentación mejor será el estudio. También pueden ser revisados empleando la información que sigue:

La aplicación de la Cartografía y de la Documentación literaria varía dependiendo de si el material es “histórico” o reciente. El primero permite la verificación de la siguiente información: climatológica, geológica actual, y morfológica; el segundo también permite, la comparación con la topografía y batimetría específicamente obtenida para el problema en cuestión y para proyectos o trabajos previos.

La fotografía, en general, nos permite la comparación de información actual con la histórica, pero la fotogrametría provee información precisa sobre los cambios en la línea de costa. Sin embargo, dos precauciones deberían ser consideradas: a) la información debe de ser revisada de manera adecuada dependiendo en las observaciones del nivel de mar en cada vuelo, o por lo menos corroborar la posible existencia de diferencias, lo cual no es difícil, y b) cuando esto sea posible, es una buena idea el obtener información referente al perfil de las cuevas transversales que corresponden a cada vuelo, lo cual no es ni siquiera fácil para estimar. Esta información tiene que ser utilizada para la cuantificación del transporte litoral de sólidos desde los avances sobre la costa enfrente de una singularidad geométrica considerada como barrera total (5) pero las cuevas fueron consideradas ‘sin cambios’, lo cual es inaceptable.

En general, estos tres grupos de información sirven como soporte y contraste complementario para la recolección de información correcta, pero el nivel más alto de cada uno debe ser conocido. Los perfiles transversales pueden proveer buena información en: a) formaciones arcaicas y su naturaleza, b) altura del rompiente del oleaje y su evolución estacional e hiper anual (posición y nivel de barras activas), c) progresión y regresión de la línea de costa y d) cambios en la pendiente en diferentes estiramientos y cambios generales de perfil. La Cartografía y otro tipo de documentación convenientemente contrastada pueden proveer información acerca de la evolución de la costa durante un corto, mediano y largo periodo de tiempo, en un “ritmo histórico”, y la Fotogrametría puede también proveer alguna información de este tipo, sin embargo cualquier intento por obtener información cuantitativa deberá ser acompañado por una combinación adecuada de los tres grupos mencionados.

En este sentido esta información nos permite el revisarla con la obtenida directamente para determinar el clima marino y de litoral, de tal manera que los campos de litoral deberán tener una tipología y una disposición compatible con el régimen de viento. Las Formaciones Arcaicas, resultado de las características del oleaje por viento de períodos previos al plio-cuaternario, deben de corresponder a la circulación atmosférica general respectiva. En 2 y 4 alguna información que nos relacione la orientación de las barreras arcaicas (barras de arena) con características meteorológicas hipotéticas correspondientes a periodos glaciares son exhibidas.

### **III.5.- Sedimentología**

Las técnicas sedimentológicas son múltiples y más poderosas, y exceden aquellas explicadas y analizadas aquí. Su uso no va enfocado hacia la cuantificación de sedimentos, -las técnicas geofísicas son más adecuadas para este fin, y mas ilustrativamente las morfológicas- sino hacia el establecimiento de su origen y transporte. Son por lo tanto insignificantes si no van correlacionadas con identificaciones geológicas y geomorfológicas.

En algunos casos particulares el uso de rastreadores pudiera ser recomendable cuando se busque una situación climatológica específica, pero este, de manera contraria a lo que sucede en ingeniería Fluvial, no es el caso de la ingeniería Costera. Esta técnica es útil y tiene un margen de costo/beneficio justificado solo en algunos problemas de difusión, en algunas problemáticas portuarias y detalles relacionados con canales. Investigaciones en Granulometría y mineralógicas, que pueden ser menos costosas, pueden proveer de mayor información en el estudio de transporte de sedimentos.

Muchos parámetros del material de evaluación, como el transporte, erosión y sedimentación, están siendo ahora relacionados con el análisis granulométrico. La simple observación y el análisis comparativo de las curvas de distribución de tamaño de grano son tan útiles como estos parámetros. De cualquier manera, el contenido de limos (< 0.07 mm), la presencia de arena corsa y generalmente en fracciones segregadas, la heterogeneidad, los valores pico (O-o) y la forma y pendiente de las curvas, son datos que deben ser considerados en cada muestra antes y después de la eliminación de carbonatos. No es este el momento de tomar en cuenta las diferencias entre los rolos de silicato y fracciones calcáreas en la totalidad del contenido de las arenas de una playa, sino de considerar, en una muestra, que los efectos del proceso de cementación en la distribución granulométrica pueden ser eliminados por descarbonatación. Esto es también para un aparente exceso de limos, o una fracción corsa de origen orgánico local. La supresión de los carbonatos no obstaculiza la detección de otras formas de residuos orgánicos; este análisis evidencia el grado de “litoralización” o “eolización” de una muestra y las similitudes y diferencias entre estas, aunque generalmente en pequeñas áreas de la costa.

El análisis mineralógico permite el completar la comparación en áreas pequeñas y extenderla hacia áreas más amplias, convirtiéndose en un sustituto a las técnicas de rastreo, con la ventaja de facilitar el análisis global que corresponde a una situación climatológica concreta. Es sin embargo necesario el considerar lo siguiente:

- Es conveniente el llevar a cabo observación analítica en la fracción de silicato para incrementar la sensibilidad. Los carbonatos presentes en la muestra no tienen el mismo “historial de transporte” y son generalmente afectados por procesos fisicoquímicos (disolución, precipitación) y biológicos (material orgánico y mineral), y su observación vil, en general, solo permite la diferenciación entre contribuciones locales –probables fuentes continentales diferentes y depósitos organogénicos- de escaso interés.
- Aunque algunos sedimentólogos prefieren las fracciones densas para ganar sensibilidad, el análisis de la fracción libre de carbono es preferible. Los carbonatos son incluidos en una densa fracción que anula una ventaja aparente, y hay una pérdida de significación estadística e información global, ya que estas fracciones densas son muy escasas y el cuarzo contiene información individual abundante, (grado de redondez, variación de cuarzo, etc.)
- Aunque el análisis de fracciones granulométricas homogéneas es mas conveniente para el conteo, se puede perder información si no se observan todas las fracciones que tengan importancia cuantitativas

El análisis sedimentológico puede ser llevado a cabo en muestras superficiales o sub-superficiales y en diferentes capas (diferenciables) de un núcleo (2), y completarlo con observación isotópica que pueda guiar al establecimiento de una configuración cronológica de algunas formaciones costeras de largo plazo. Esta información requiere de una tecnología que sea cuidadosa en la selección del material analítico y de la eliminación de posibles interferencias.

### **III.6.- Ecología Dinámica**

La gran mayoría de los procesos de litoral costero presentan un equilibrio en su dinámica ecológica expresado en el biotopo y la biocenosis. Los efectos analíticos que fundamentalmente afectan el biotopo han sido abarcados hasta ahora. El análisis biocenótico puede ser más difícil, pero de utilidad limitada ya que la inercia de la biocenosis es mucho más pequeña. Su valor para la ingeniería costera se reduce a la evaluación de los impactos ambientales. Sin embargo, si pequeños detalles no son tomados en cuenta para el análisis y su evolución general es investigada en relación con otros elementos climatológicos y morfológicos y con fenómenos exogenitos relacionados con depósitos o descargas u otros trabajos costeros, es posible el integrar esta información en un modelo global de comportamiento. Una comunicación basada en estos objetivos ha sido presentada en Torremolinos (7). En ciertas acciones costeras, y debido a la reintegración de características singulares del ambiente, estos estudios pudieren necesitarse.

## **IV.- DATOS PARA EL PROBLEMA. TRATAMIENTO Y SINTESIS**

En el capítulo anterior la información necesaria para iniciar la planeación y el diseño de trabajos costeros fue aproximado desde un punto de vista analítico. Estos datos presentan una serie de referencias que son de igual forma contrapuestas o complementadas por otra información, permitiendo su contraste. Este proceso se va a desarrollar aquí para permitir una síntesis.

### **IV.1.- Dinámica de litoral paralelo; transporte de sólidos**

Datos sobre el clima marino permiten el establecimiento de características sobre el oleaje por viento, extremo y promedio anual, y sobre las corrientes paralelas inducidas por estos. Este último fenómeno es de interés ya que conduce a una referencia contrastante: transporte de sólidos a lo largo de la costa. Existen varios modelos para determinar la naturaleza y velocidad de las corrientes de litoral, pero este no es el momento para analizarlos. Es sin embargo importante comprender las consecuencias del fenómeno

que da origen a estas corrientes y al transporte de material sólido que depende de éstas últimas. Existen también diversos modelos que estiman los transportes sólidos reales (“drift”) de litoral siempre suponiendo que la capacidad de depósito no está limitada. Factores secundarios, que influyen en el transporte real, son evidentemente diversos, pero no queda duda de que la condición limitante es la existencia o no de material suficiente. La mayoría de los modelos son contrastados en determinadas costas donde no se han estimado limitaciones, pero la comprobación no ha sido documentada. Confinando la discusión en aquellas áreas en donde no existían limitaciones reales, es evidente que los valores calculados con estos en otras costas nos remite a la capacidad de la deriva litoral o su potencial. La deriva litoral o deriva litoral real es en ocasiones menor de lo que debiera ser, debido a, además de otras causas, una carga de sólidos insuficiente. Esto implica un primer problema para el chequeo, por ejemplo, una playa en frente a una barrera total crece dependiendo de la deriva litoral real, las correcciones y el coeficiente de las fórmulas calculadas para el transporte paralelo no se llevarán a cabo a menos que el arrastre potencial y el arrastre litoral real coincidan.

El arrastre litoral es a menudo entendido como arrastre fluvial lo que nos lleva a varios errores, el menor de estos no es el hecho de trabajar con el transporte neto de manera indiscriminada. De cualquier manera en circunstancias determinadas, -barreras portuarias, encauzamientos, etc. - el parámetro para verificar es el total del transporte por razones obvias; por otra parte si el arrastre potencial y real no coincide en un punto dado, quizás no tenga sentido el determinar el transporte potencial neto, que puede ser determinado por el clima.

Esta crítica se pudiese incrementar, pero guiaría al lector hacia una interpretación equívoca que en esta corta discusión no puede ser corregida: esto es, ‘que los modelos para determinar el transporte de sólidos en el litoral, (siempre los potenciales) para información climatológica son inútiles’. Nada está más lejos de la verdad, que la simple determinación de la resultante del oleaje por viento en profundidades indefinidas ya es de un valor operativo importante. Se obtiene mediante la combinación del régimen del oleaje por viento con la fórmula del modelo seleccionado para la determinación del transporte. Este valor, una vez extendido cuantitativamente, puede ser corroborado con la información morfológica de la costa, así como la tipología de algunas formaciones costeras, la orientación en estrechos lineales en áreas costeras, etc.

Ahora es conveniente el reconsiderar el régimen de oleaje por viento. Esta discusión podría olvidarse en áreas en donde existen suficientes observaciones visuales del oleaje por viento e incluso es posible el obtener un régimen significativo sin extender la superficie de “observación” al cuadrado para la recolección de datos, pero en donde no sucede así, métodos de “hindcasting”, empleados para determinar la capacidad de transporte, son los adecuados. El mayor problema ocurre para Fetches largos y vientos con velocidades altas, cuando errores, generalmente por excesos, pueden ser probables. Una adecuada limitación en Fetches y operar con los valores promedio de valores para transporte (resultante anual promedio K.A.R.) provee una auto compensación de errores.

#### **IV.2.- Dinámicas de litoral perpendicular. Perfiles de equilibrio**

Un segundo método de confrontación para información climatológica y morfológica se deriva del estudio de cambios en los perfiles transversales a lo largo del año. Algunos de estos cambios son estacionales o hiper anuales, pero cíclicos y no implican erosión neta. Los componentes energéticos que inducen estos cambios corresponden a los componentes de K.A.R. como fue descrito previamente, perpendicular a la

orientación general de la costa en el área objeto del análisis. Esta orientación aparenta ser sencilla de definir, pero es en realidad difícil de determinar. En una orientación exactamente perpendicular al K.A.R. no existirá transporte paralelo neto (potencial), existirán solamente cambios periódicos en el perfil transversal, y más importantemente en costas evolucionadas en esta orientación. Consecuentemente, a una energía mayor (resultantes de promedio anual mayores en orientaciones equivalentes) deberán corresponder cambios estacionales más notorios o cambios análogos en perfiles transversales.

Por otra parte, la posición y niveles de deposición progresiva (bancos de arena) deberá de estar acorde con el oleaje por viento representativo; áreas extremadamente protegidas deberán mostrar señales de deposición progresiva, etc., considerando la hipótesis de las características de sedimentos constantes. Pero esta consideración nos lleva a un nuevo paso en el proceso o síntesis.

### **IV.3.- Procesos litorales y Evolución de la Costa**

La interrelación de cierta información climática con información morfológica y sedimentológica fue evidenciada en el párrafo anterior del capítulo anterior. En el epígrafe IV.1 el estudio hubiese podido continuar más, la misma conclusión hubiese sido alcanzada, aunque de manera mucho más compleja. El problema general esta enfocado en términos más generales que en los dos epígrafes anteriores. Información de cada uno de los factores analizados en el capítulo III se interrelacionan de manera tal que el resultado analítico pudiese permitir una explicación coherente de la evolución de la costa. Por lo tanto, es suficiente el proponer el modelo de manera tal que, después de su aplicación a todos y cada uno de los datos, haberlos corregido y, al mismo tiempo, corregido el modelo, y así sucesivamente hasta que un ajuste coherente de todos los elementos corregidos sea alcanzado. Esta información última, visto con un criterio de estabilidad y especialmente funcional, debieren ser utilizados para la planeación y el diseño de trabajos marinos.

## **V. CONCLUSIÓN: EL FACTOR PLANEACIÓN**

Cuando alcanzamos el final de esta discusión, se torna evidente que el autor ha sacrificado a la tecnología, y la ciencia que la fundamenta, por el razonamiento de ambas, ya que el objetivo era el explicar el razonamiento detrás del método en ingeniería costera y no el insistir en lo que ya es conocido por los lectores.

Uno pudiera pensar que limitando la discusión a un área filosófica, sería difícil el hacerla operativa. ¿Cómo entonces esta metodología, cerrada en sí misma, permite la planeación y el diseño de los parámetros de cálculo? Aunque la respuesta está en cierto sentido contenida en las últimas líneas del epígrafe anterior, no es mala idea el ser un poco más explícito al respecto.

-Con respecto a la funcionalidad, es necesario operar con regímenes de vientos, oleaje por viento, mareas y crecidas, con Resultantes Anuales Promedio y la evaluación del arrastre litoral, junto con una cuantificación sobre el arrastre litoral actual (si es posible) y la evaluación de los límites de cambio en los perfiles transversales, y en su caso el régimen de corrientes (vientos y mareas), aunque en la mayoría de las acciones todos estos factores no son necesarios de manera simultánea.

-Con respecto a la estabilidad, son requeridos los regímenes arriba mencionados y la naturaleza del lecho marino y otros datos geológicos y geomorfológicos.

El conocimiento de los regímenes puede ser obtenido de diferentes fuentes de información, pero ninguno que no explique coherentemente el resto de los factores involucrados debe ser empleado; recíprocamente, para la selección de otros factores pueden ser empleados distintos términos de aproximación, pero ninguno que no explique el resto de ellos basándose en el régimen seleccionado. El proceso de selección puede resultar difícil, aún más si los trabajos a planear y diseñar son de importancia en aumento. Cualquier otro criterio sería arbitrario, con la excepción del basado en la obtención directa de cada parámetro, lo que en el presente es una utopía en Ingeniería Costera.

## CAPITULO VII.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

El problema planteado como validación del proyecto último para la regeneración de la playa del cordón litoral entre Punta Cancún y Punta Nizuc terminó extendiéndose al de la validación de toda la documentación elaborada para dicho proyecto y el de los informes desarrollando esa y otras alternativas para el mismo. La Documentación analizada se detalla, lo mismo que otra información anterior y posterior y que el proceso de obtención y el método de trabajo para el análisis de las mismas, en el Capítulo introductorio. Los Capítulos II al IV desarrollan el análisis crítico y la discusión científica y técnica de los documentos referidos. El Capítulo V desarrolla el análisis de la última información de campo obtenida. Y el capítulo VI la filosofía del conocimiento de los procesos litorales que fundamentan los análisis anteriores. Como compendio y resumen de todos ellos se desarrolla en el Capítulo I el cuerpo del DICTAMEN solicitado, cuyas conclusiones siguen a continuación.

### 1.- SOBRE EL ESTADO DE LA PLAYA Y LA NECESIDAD DE ACTUACION.

Es evidente, a la vista del conjunto de Estudios e Informes que se han analizado y también de trabajos posteriores y observaciones del autor, que **la regeneración de las playas entre las Puntas de Nizuc y de Cancún es necesaria y urgente**, tanto para el mantenimiento de la infraestructura turística ya existente como para la preservación del ecosistema actual, toda vez que **existe riesgo de ruptura de la barrera arenosa litoral** aunque no se perciba inminencia en ella, porque **la erosión profunda en la misma está permitiendo el afloramiento de arrecifes y su posterior erosión**.

Que **tras del Gilberto la playa requiere, ya desde entonces, de alimentación artificial** es también evidente: porque a) la erosión causada por el huracán sólo había sobre-agudizado un problema que ya se venía arrastrando desde lejos en el tiempo, b) probablemente había rebasado ya entonces el nivel de reversibilidad, c) al problema económico que se podría generar y se generó por la negativa afección al turismo de la situación y evolución previsible de la playa se sobrepondría el ambiental, plural, que se causaría en caso contrario sobre la laguna litoral de Nichupté y sobre los arrecifes submarinos a causa del progreso de la erosión en las zonas aún no construidas y de defensa costera postergada por ello.

**La regeneración de esta playa puede considerarse por tanto como una actuación de carácter ambiental en sí misma**, aparte su carácter territorial y económico-social, y que como tal se muestra prioritaria y urgente.

### 2.- SOBRE LAS OBSERVACIONES Y LA DOCUMENTACIÓN ANALIZADAS

Con independencia de que las cosas siempre son perfectibles es evidente que **los esfuerzos han sido ingentes y que se ha debatido el problema técnico y científico en profundidad, y que**

**todos los documentos consultados tienen valor en sí mismos** aunque, bien por su enfoque parcial u objetivos incompletos, bien por el tiempo transcurrido desde su realización, bien por la ausencia de una determinación clara sobre el tipo de decisión a tomar, puedan resultar ahora incompletos o superados por otros; y **en conjunto configuran una información más que suficiente para la redacción de un Proyecto Ejecutivo.**

**Respecto de los estudios realizados y su aplicación al proyecto ejecutivo,** se plantea otra cuestión final entonces; es la de la validez de los múltiples y diferentes estudios realizados y de sus datos para su empleo en la redacción del proyecto ejecutivo y en las acciones de monitoreo y mantenimiento. También **debe decirse a ese respecto que toda la documentación es útil tal y como la ha elaborado la CFE** en los informes de sus diferentes etapas, si bien en función de la aplicación concreta que se pretenda.

No obstante, **las Documentaciones que acompañan a sus dos Informes “finales”, la de la “tercera etapa” y la última, son plenamente utilizables tanto para el proyecto como en el monitoreo,** ya que son recientes y concordantes o complementarias; claro está, en lo relativo a los datos (geofísicos, batimétricos, de oleaje, etc.). En lo relativo a los informes, debe observarse que cada una de ellas se aplica a una alternativa diferente del proyecto, una con obras complementarias y la otra sin ellas, y aunque ambas son validables, la propuesta es la de la alimentación sin obras, comprendida en la última entrega de la CFE expuesta en la MIA-R y aceptada en el RESOLUTORIO correspondiente. **Dicha Documentación incluye una propuesta de trabajos de monitoreo que aquí se respalda totalmente.**

La Documentación de la etapa tercera incluye la aplicación de un modelo numérico de evolución de la línea de playa. **Es un modelo válido y aplicable a la solución propuesta mejor que a la desarrollada en esa tercera etapa,** en la que las obras de rigidización que se contemplan limitan precisamente la validez de su aplicación. El grado de validez de los resultados de la aplicación del modelo es el del propio modelo, que siempre es limitado, por lo que aquellos deben considerarse estimativos. **De ahí que, con vistas al mantenimiento posterior de la playa, los trabajos y estudios de monitoreo y seguimiento de la playa durante su regeneración y tras de ella, sean tan importantes.**

Pero **también los datos e Informes de la primera y segunda etapas son válidos y útiles.** Los datos de campo y gabinete, porque completan los otros, aun siendo anteriores, para cualquier estudio posterior durante el monitoreo y después de él. Los Informes analíticos, de síntesis y de diagnósticos porque fueron correctos en su momento y siempre constituyen referencia útil en el análisis para la determinación de los datos de cálculo del proyecto ejecutivo (que se habrán de rehacer en base a los últimos datos de campo y gabinete disponibles), y en el de los datos del monitoreo.

Con todo, existen puntos que pueden completarse como el **recurrir a los Regímenes de Oleaje** (distribución de estados del mar  $-H_s-$  en el año medio) y **Temporales** (distribución extremal de estados del mar  $-H_s-$ ) entendidos estos como separados del “régimen ciclónico” (de huracanes), afectando ello más a los trabajos de gabinete y al análisis que a nuevas tomas de datos, y matizando con ellos el tipo de éxito esperado y las previsiones de los costos del mantenimiento

futuro. En todo caso pueden obtenerse fácilmente para el proyecto ejecutivo del banco de datos de la CFE. Se podría **mejorar también el conocimiento sobre la naturaleza y distribución de los arrecifes aflorados en la playa sumergida** y en las zonas cuya batimetría ha sido investigada, por conocer su estado, composición mineralógica y formas de erosión, en su caso, pero no afectaría a las condiciones de diseño, sólo a mejorar el conocimiento del funcionamiento del sistema.

En la Documentación analizada se trabaja con un régimen extremal obtenido combinando el empleo de datos de huracanes con otros de oleajes en el Golfo de México que combinan fenómenos de diferente naturaleza estadística. Sin embargo se refiere abundancia de datos de observación y previsión cuyos soportes están disponibles en los archivos de la CFE. **A efectos del proyecto ejecutivo debieran obtenerse estos regímenes y, en el caso de oleajes de huracanes, emplear los máximos registrados en la zona, corregidos al alza, en su caso, si su máximo espacial no correspondió a estas playas de Cancún.** Supondrá un trabajo adicional que no puede estimarse muy importante porque la CFE dispone de los bancos de datos suficientes para obtenerlos con inmediatez.

Oportuno sería **realizar algunas propagaciones más de los oleajes** que permitan relacionar mejor los datos observados en profundidades indefinidas, en las reducidas y en las de rotura, y todas ellas con los de las corrientes litorales y con los transportes de sedimentos. Aunque las erosiones en estas playas se iniciaron y desarrollaron seguramente durante mucho tiempo con independencia de los huracanes, el Gilberto introdujo una agudización de las mismas al rebasar cierto estado crítico. Es algo que convendría discernir para la redacción del proyecto definitivo, de su ejecución y del mantenimiento posterior de las playas.

**Es importante el nivel de diseño bajo condiciones huracanadas,** el estudio de niveles no está hecho y, aunque la propia existencia previa de la playa determina el nivel de referencia principal, a los efectos de previsión de la evolución, pudiera convenir este estudio. Es precisamente este aspecto, el de la discusión reflexiva de todos los datos disponibles y de los que finalmente se decida determinar, en su caso, el que merece un mayor esfuerzo si se dispone de tiempo para ello, pero excedía el alcance y tiempo para este Dictamen; podrían mejorarse con ello varios aspectos del diagnóstico, contrastar mejor la bondad o calidad del conjunto de los datos y tener una mejor previsión del comportamiento

### 3.- SOBRE EL PROYECTO EJECUTIVO, SUS ALTERNATIVAS, FUNCIONALIDAD E IMPACTO.

Los proyectos que sucesivamente se han planteado desde 1991 para el conjunto de la playa se basan en la regeneración o relleno de la playa mediante la aportación de arenas de fondos marinos próximos pero ajenos al sistema litoral “actual” de la misma, esto es, cuyas arenas son ya irrecuperables en forma natural para esas y otras playas, aunque de hecho en gran medida procede de tales playas y de los arrecifes vinculados a ellas. Sólo el proyecto ejecutivo de la tercera etapa de estudios de la CFE incorpora además unos apoyos en los extremos del tramo y un elemento rigidizador longitudinal que difiere o impide la pérdida de arenas por la acción de los

oleajes extraordinarios debidos a huracanes. Los otros dos **se basan en una mera regeneración con arenas de bancos próximos situados al norte de la playa a recuperar.**

Respecto del juicio sobre ellos todas las razones aconsejan incorporar algunos elementos de apoyo y protección, por lo que el de la tercera etapa parecería en principio el más adecuado. Su volumen de alimentación es sin embargo menor que en el último por causa de batimetría empleada o de precisión en la determinación pero, por las razones que se exponen en este Dictamen, **estos volúmenes parecen inferiores en todos los casos a los necesarios para conseguir un perfil de estabilidad con las plataformas de playa seca mínimas deseadas** en cada caso. Eso quiere decir que previsiblemente se sufrirán pérdidas y retrocesos de la playa pronto tras la regeneración, para buscar el perfil de equilibrio a costa de una anchura de playa seca susceptible de ser considerada insuficiente, todo lo cual llevaría a preferir aquél proyecto.

Sin embargo, **y aunque vigente la discusión sobre si la mera alimentación es la más adecuada o si resultan convenientes obras de apoyo y protección que atenúen los gastos del mantenimiento mediante alimentaciones posteriores a la de regeneración, la legislación vigente y la urgencia de la actuación dejan suficientemente aclarada la determinación, adoptada finalmente en el proyecto del Informe final, de recurrir a una mera alimentación artificial con arenas marinas de fondos suficientemente profundos. Es seguro que requerirá más mantenimiento pero hay tiempo tras la urgente regeneración de estudiar y discutir si su reducción merece y permite la ejecución complementaria de otras obras.**

En los propios inconvenientes de la mera regeneración se encierran también por tanto sus mayores ventajas. En cualquier caso ya se ha expuesto que la razón fundamental para informar favorablemente esa solución frente a la otra es **la certeza técnica de que la peor solución es continuar con la discusión** y de que la evolución de la playa tras la regeneración va a indicar si las propias consideraciones medioambientales van a poner o no sobre la mesa de nuevo la discusión para, entonces en forma inequívocamente “demostrada”, analizar si se requieren o no obras complementarias de apoyo, abrigo o contención.

En otro orden de cosas el proyecto ejecutivo debe **recalcular al alza el volumen de arena a trasvasar desde los bancos para la alimentación.** La razón principal es que se debe utilizar la última batimetría, porque la erosión ha continuado, antes del Iván y con él. Pero también por razones expuestas relacionadas con el perfil de equilibrio, su forma y su alcance en profundidad. Los modelos disponibles para simular el perfil de construcción y el de equilibrio adolecen del mismo defecto por lo que no se debe desechar el empleado, pero puede establecerse un coeficiente de seguridad para aproximar las cubicaciones estimadas con el modelo a las más probablemente reales.

Es relevante el cálculo de **los volúmenes de relleno**, que se deben suponer inferiores a los necesarios en razón del tipo y manejo del perfil de equilibrio de la playa. De ahí se derivan un retroceso de la línea de playa, posterior a la ejecución, más acelerado y unos gastos de mantenimiento superiores a los estimados; pero eso no afecta ni a la necesidad del proyecto ni a su viabilidad, aunque requiriere ajustar las previsiones económico-financieras. Ligado a ese tema se encuentra el de la **anchura de playa**. A estas alturas conviene disponer de la batimetría tras el

Iván. **La anchura de 60 metros de playa seca puede considerarse sobreabundante**, por lo que el que dicha anchura pueda reducirse desde en seguida tras la finalización de los trabajos no debe considerarse dramático; sin embargo de todo ello **se deriva también que los trabajos de monitoreo deben ser ejecutados a rajatabla, y ser considerados más importantes que los de la propia construcción.**

**El impacto morfológico se obvia con el dragado a profundidades suficientes**, cuando los sedimentos pueden considerarse perdidos ya para el transporte litoral y no susceptible por tanto de ser recuperado para el perfil de playa activo, como ocurre con todas las zonas analizadas en los distintos estudios e informes para seleccionar los bancos de aportación.

Adicionalmente, los bancos de arena que permiten hoy las extracciones de dragado para los rellenos tienen su acrecimiento actual en los propios sedimentos erosionados de la playa y los dragados restaurarían en cierto modo una situación anterior que se ha empezado a perturbar desde que la excesiva -por inadecuada- ocupación del cordón NIZUC-CANCUN ha desencadenado un proceso creciente de erosión de éste.

Y en relación con lo anterior debe asumirse que, dependiendo del plazo, de las condiciones económicas y de la financiación, **el dragado en el banco de la Ollita puede ser preferido al de Megarrizaduras** por el contratista, en cuyo caso no se debe impedir, siempre que se verifique en el monitoreo que aquél permite los volúmenes de extracción necesarios para alimentar la playa en exclusiva lo que parece confirmarse tras los estudios de los fondos para la MIA. Los efectos del dragado en el banco de Megarrizaduras siempre se dejarían sentir en la costa más que los practicados en el de la Ollita.

#### 4.- EN RELACION CON EL RESOLUTORIO DE LA MIA.

Debe hacerse notar que los dos primeros puntos generales de la opinión del Instituto de Ingeniería de la UNAM **ponen en evidencia, lo mismo que este Dictamen, tanto los efectos positivos de la regeneración** (económicos, sociales y, sobre todo en nuestro criterio, ambientales) como **los dramáticamente negativos que derivarán de la no regeneración** (incluso, en nuestro criterio, de su simple demora). **El tercero coincide con lo establecido en los estudios de la CFE y resaltado varas veces en este Dictamen.**

Con respecto a **las opiniones particulares son de destacar como convergentes con los de este dictamen** sus tres primeros puntos, en los que **destaca la sobresaliente técnica y calidad con la que han sido realizados las investigaciones y estudios que condujeron al proyecto, que cumplen sin duda estándares internacionales.** Y respecto del cuarto es indudable la observación relativa a la incidencia de los daños de la vegetación ya que éste constituye siempre elemento estabilizador de las formaciones sedimentarias litorales; pero **sí se debe considerar que los estudios de la CFE establecen suficientemente los procesos litorales naturales, aunque no se hayan cuantificado las divergencias entre estos y los antropogénicos** desde el inicio del desarrollo turístico de la zona. Quizás considerase el Instituto, como nosotros, que con los datos que la CFE ha obtenido hubiera podido llegar a mayor profundidad y concreción en los procesos y en el diagnóstico en el sentido en que este Dictamen, precisamente, ha profundizado.

Y debe destacarse **especialmente el comentario final del Instituto de la UNAM, recogido en el punto 10 del Resolutorio en el sentido, sobre todo, del beneficio ambiental de este proyecto, que realmente debe considerarse como ambiental.** La garantía de medios tecnológicos debe darse por satisfecha si existe financiamiento y éste está garantizado por la propia economía de la zona.

## REFERENCIAS

- (1) DIEZ, J. et al. "Bases para la determinación de la dinámica litoral en el País Valenciano". Rev. O. Públicas, 1982. Madrid.
- (2) ESTEBAN, V. et al. Procesos litorales en la bahía de Guardamar  
XXI Conferencia de Ingeniería de Costas. Torremolinos, 1988.
- (3) DIEZ, J. et al. La Ría de Foz: Solution for a Port and Coastal Problem. XXI Conferencia de Ingeniería de Costas. Torremolinos, 1988.
- (4) DIEZ, J., ARENILLAS, M. and SERRA, J. Shore protection in Almazora Coast. IV Engineering Geology Intern. Congress. N. Delhi, 1982.
- (5) C.E.P.Y.C. Procesos litorales en las Costas Mediterráneas y Onubenses. Madrid, 1979.
- (6) ARENILLAS, M. DIEZ, J. Procesos litorales en las Costas de Javea. Madrid, 1984 (Estudio para el Ayuntamiento de Javea, sin publicar).
- (7) SOLER, E. et al. "Study of the variations of an Eutrophiced Ecosystem placed in the Spanish Mediterranean Shore. XXI Conferencia de Ingeniería de Costas. Torremolinos, 1988.