MEDIOAMBIENTE

INGENIEROS DE CAMINOS

II CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE

Santiago de Compostela
22-24 de septiembre de 2004

tomo 3

ponencias y comunicaciones

COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Comisión de Medio Ambiente
con la colaboración de
ASOCIACIÓN DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

XACOBEO 2004
Galicia

MUY IMPORTANTE

Las ponencias y comunicaciones recogidas en esta obra reflejan fielmente, salvo error involuntario, el contenido de los trabajos enviados por sus autores. Esa fidelidad se refiere tanto al desarrollo de los trabajos como a sus elementos complementarios: resumen, título, fotografías, etc.

Los tres volúmenes se han cerrado a 1 de agosto. Los cambios posteriores a esta fecha no han podido ser recogidos.

Por razones técnicas y operativas, el libro se ha editado en una sola tinta, pero en el CD-ROM se pueden ver en color aquellos cuadros, gráficos y fotografías que han sido enviados así por sus autores.

Puede ocurrir que algunas fotografías no tengan una calidad óptima o se hayan reproducido a tamaño pequeño. Generalmente se debe a que el archivo informático enviado por el autor está a baja resolución y no permite una mejor calidad.

Los autores son los únicos responsables de los contenidos de las ponencias y comunicaciones.

Edita: COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Dirección editorial: Mar Marco Carmena
Cubierta: Nieves Córcoles Gómez
Diseño de logotipo: Cruz Pérez Rubido

Diseño, fotomecánica e impresión: Diseño Gráfico AM2000
Tel.: 91 535 05 81

ISBN general: 84-380-0286-2
ISBN de este volumen: 84-380-0285-4
Depósito Legal: M-38.544-2004

Índice Volumen III

GRUPO V
EL PROYECTO, LA CONSTRUCCIÓN Y LA EXPLOTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS

PRESIDENTE: *José Antonio Torroja Cavanillas*
MODERADOR: *Justo Mora Alonso-Muñoyerro*

PONENCIAS

Javier Rui-Wamba Martija
El análisis de integración ambiental como metodología para la evaluación de proyectos de obras lineales 1.653
Santiago Hernández Fernández y Lorenzo Fernández-Ordóñez
Proyecto Eduardo Chillida-Montaña Tindaya, Fuerteventura 1.667
Domingo Gómez Orea
La recuperación de los espacios degradados: tercer pilar de la gestión ambiental .. 1.691
Felipe Criado Boado
Arqueología y Obras Públicas: ¿Excepción o normalidad? 1.707

COMUNICACIONES 1

Los estudios de alternativas en los proyectos de ingeniería

Presidente: *Jaime Alejandre Martínez*
Moderador: *Rosa María Arce Ruiz*

José Ramón Madinaveitia Foronda
Estudio de alternativas de un proyecto de transporte urbano: El tranvía de Vitoria-Gasteiz 1.733
Mariano Palancar Penella
La integración de los condicionantes ambientales en el proyecto 1.745
Rosa Junyent, Miriam Villares
Evaluación de impactos sociales en autopistas urbanas. Aplicación al caso del cinturón periférico de Barcelona 1.753
Francisco Ballester Muñoz, César Otero González, Mª Antonia Pérez Hernando, Andrés Iglesias Prieto, Daniel de La Hoz Sánchez, Reinaldo Togores Fernández
Investigación y desarrollo de técnicas de realidad virtual en el ámbito de la obra civil 1.765
Rosa M. Arce Ruiz, Adoración Gómez Sánchez
La experiencia de EIA de infraestructuras de transporte en la Comunidad de Madrid. Análisis de casos 1.773
Francesc Magrinyà Torner
El estudio de impacto ambiental, de la línea al territorio: el ejemplo de la variante de la N-240 entre Tarragona y Montblanc 1.785
Juan Antonio Díez de Dios, Luis Ramajo Rodríguez
Medidas compensatorias y proyectos de infraestructuras. La aplicación de la Directiva Hábitats 92/43/CEE 1.797
Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos, Juan Carlos Gutiérrez-Marco, Enrique Bernárdez Rodríguez
Un Atapuerca geológico en la autovía del Cantábrico (túnel ordovícico del Fabar, Ribadesella) 1.811

Proyecto Eduardo Chillida Montaña Tindaya, Fuerteventura

SANTIAGO HERNÁNDEZ FERNÁDEZ* Y LORENZO FERNÁNDEZ-ORDOÑEZ**

* Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Director de los estudios medioambientales del proyecto.
** Arquitecto.
Director del proyecto técnico junto con Daniel Díaz Font.

RESUMEN

«Hace años tuve una intuición, que sinceramente creí utópica. Dentro de una montaña crear un espacio interior que pudiera ofrecerse a los hombres de todas las razas y colores, una gran escultura para la tolerancia.

Un día surgió la posibilidad de realizar la escultura en Tindaya, en Fuerteventura, la montaña donde la utopía podía ser realidad. La escultura ayudaba a proteger la montaña sagrada. El gran espacio creado dentro de ella no sería visible desde fuera, pero los hombres que penetraran en su corazón verían la luz del sol, de la luna, dentro de una montaña volcada al mar, y al horizonte, inalcanzable, necesario, inexistente...

Quizás la utopía no pueda ser nunca realidad. Quizás otros lo consigan en otro lugar. O quizás la escultura, ese espacio amplio y profundo, accesible a la luz del sol y a la luna, lugar de encuentro de los hombres, pueda llegar al corazón de la montaña sagrada de Tindaya». (2).

1. ANTECEDENTES

El 24 de mayo de 1995 el Gobierno de Canarias declaró de interés para Canarias, la elaboración del Proyecto ideado por el escultor Eduardo Chillida para la Montaña de Tindaya en Fuerteventura. Desde aquel momento el Proyecto ha tenido un caminar pausado a lo largo del cual se ha producido el debate y aceptación de la intervención escultórica por parte de los grupos políticos con representación parlamentaria, y de la sociedad canaria en general, y se han ido cubriendo una serie de etapas necesarias para obtener el consenso y aceptación general para iniciar el Proyecto Técnico.

El proyecto de Tindaya constituye una de las iniciativas de política turístico cultural más importantes llevadas a cabo en las últimas décadas. El proyecto tiene una honda repercusión en distintos aspectos:

- **Artístico**. Por tratarse de una obra de culminación en la carrera de Eduardo Chillida, considerado internacionalmente como uno de los cinco escultores más importantes del siglo XX.
- **Turístico**. Porque la existencia de una escultura monumental de estas características en el entorno de un importante destino turístico internacional como es Canarias, sirve de elemento dinamizador de un tipo de turismo muy importante para el archipiélago, dentro, precisamente, de una isla, Fuerteventura, con escasos monumentos y puntos de interés artístico o cultural.
- **Social**. Porque el polo de desarrollo que supondrá la realización del monumento dentro de un entrono protegido, beneficiará socio-económicamente a las localidades de su alrededor promoviendo la creación de servicios y generando empleo.
- **Ecológico**. Porque la realización de la escultura implica la protección de la montaña y su entorno en un radio de 5km y supone un ejemplo paradigmático de desarrollo sostenible al combinar desarrollo social y protección ecológica y paisajística de la zona.

2. EL ARTISTA [1]

La obra escultórica de Eduardo Chillida es una de las más importantes en la escultura del siglo XX. Su obra ha sido analizada por poetas (Octavio Paz, José Ángel Valente, Jacques Dupin, Claude Esteban, Edmond Jabes, Yves Bonnefoi, etc.), por filósofos (Gaston Bachelard, Martin Heidegger, Rene Thon, etc.), así como por infinidad de historiadores del arte y directores de Museos.

Asimismo su obra ha sido presentada con profusión en todo el ámbito internacional. Su primera retrospectiva tuvo lugar en el Museo de Bellas Artes de Houston en 1966, cuando Chillida tenia 44 años. Después en el Guggen-

heim de Nueva York, en el Carnegie de Pittsburg, en la Hayward de Londres o en el Martin Gropius Bau de Berlín.

La obra de Chillida tiende a abrir nuevos horizontes a nuestra mirada y cuestiona el espacio alrededor. Los títulos de sus obras nos lo advierten: *Lugar de Encuentros*, *Arquitectura Heterodoxa*, *Abesti Gogora* o Gran Canto, *Rumor de Límites*, etc. Chillida no solo ha creado piezas escultóricas para ser presentadas en los museos. Ha intervenido también con su obra en el paisaje con obras como *Los peines del viento* en San Sebastián, *La casa de Goethe* en Francfort, *El Elogio del Horizonte* en Gijón, en la restauración de un antiguo caserío, Zabalaga, convertido ahora en la sede de su Fundación, llamada *Chillida Leku*, donde se puede contemplar su obra escultórica, o el proyecto *Montaña Tindaya* en la isla de Fuerteventura.

En el siglo XX la actividad humana se ha desenganchado de esa profunda interacción con el mundo natural del que somos parte. Con su obra Chillida parece decir que no hay que separar arte y poesía ni ciencia de admiración. Chillida intentó ya con los *Peines del Viento*, con esas tres aceros sobre el mar de San Sebastián, interrogar al mar por el significado de su fuerza. Con el *Elogio del Horizonte* puso un atril en la atalaya de Gijón para leer el libro del horizonte.

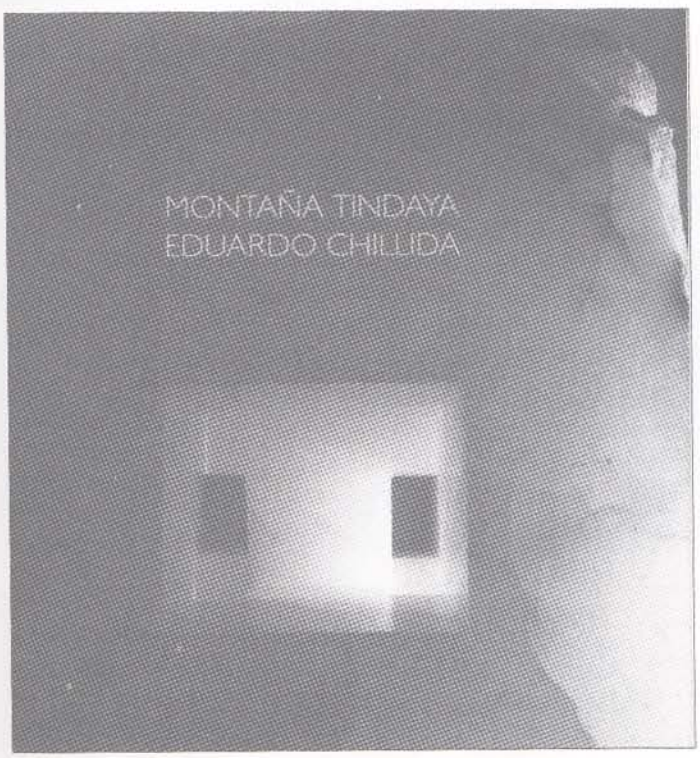

Figura 1. Portada del Catálogo de la exposición del proyecto en Fuerteventura. 1996.

La escultura de Eduardo Chillida en la montaña de Tindaya no es una obra que se construya únicamente con una finalidad artística, en la que se desperdicie la piedra que se obtiene del interior de la montaña, sino que es una intervención que plantea el problema de cómo trabajar en una cantera, y que nos da la pauta para actuar en la naturaleza. La obra surge de la reflexión espacial de Chillida al ser consciente de que, al extraer la piedra de la cantera, los obreros introducen espacio en la montaña. En Tindaya Chillida ha unido ambas acciones poética y tecnológicamente: Al extraer la piedra crea el espacio.

Este tema no es nuevo en la obra del artista, está presente en todxa su actividad, tanto en la práctica del dibujo y del grabado como en sus piezas de piedra y acero. El inicio del trabajo se remonta a los primeros alabastros realizados en 1.965, como consecuencia de un viaje que realiza en 1.963 a Grecia, donde influyen en el artista la luz y la diafanidad del cielo como elementos esenciales del paisaje griego. Chillida se interesa por los perfiles, las líneas que el ojo pierde, encuentra y vuelve a perder - no por que sean líneas vaporosas sino por que son extremadamente finas. Se interesa también por la exactitud de las lejanías, por el horizonte que determina y *cierra*, en su traducción etimológica. Estos alabastros ponen el acento de la cuestión espacial en un nuevo punto de inflexión, **el concepto de límite.**

Es en el juego de límites, en su interrelación, donde se conforma el sentido del espacio en la obra de Chillida. Crear un lugar significa poner límites, delimitarlo, definirlo: introduciendo un espacio o vaciándolo. Para Chillida sacar el espacio de la entraña de Tindaya significa crear un lugar, entre el cielo y la tierra, desde donde contemplar el horizonte y entregarse a la luz y a la arquitectura que la propia luz crea.

La referencia más evidente hacia el proyecto de Tindaya se da en otros dos alabastros, el titulado precisamente «Vacío de la Montaña», *Mendi Hutz*, de 1.984, y el titulado *Elogio de la luz XX*, de 1990. En ambas piezas pretende penetrar la piedra, creando un espacio en su interior al sacar la materia.

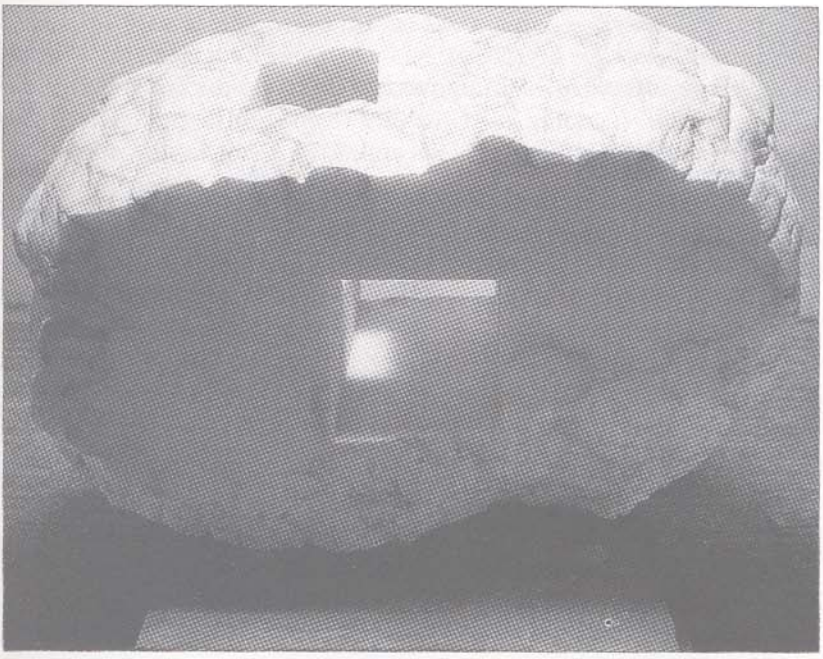

Figura 2. Elogio de la luz XX. 1990.

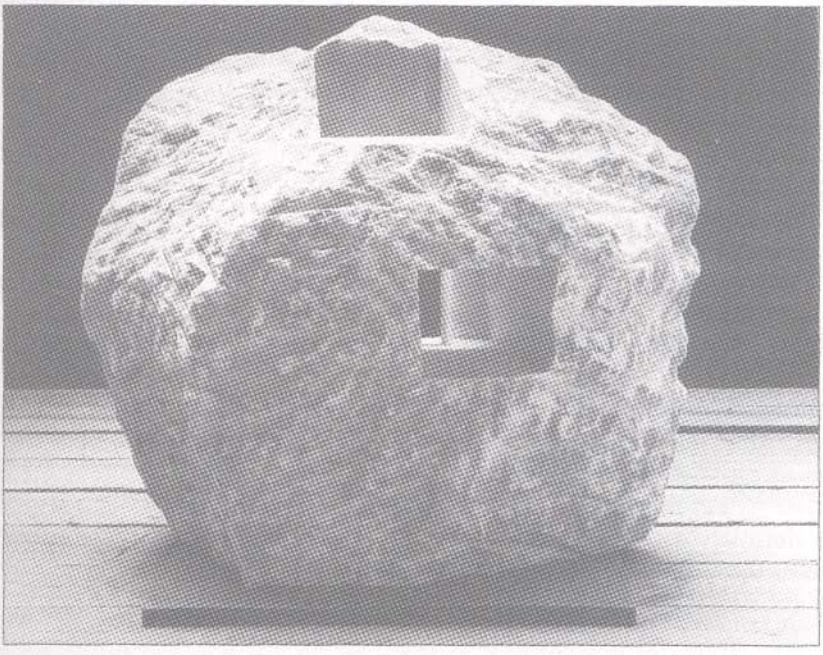

Figura 3. Lo profundo es el aire XV. 1995.

La idea para Tindaya se basa en el conocimiento de la estructura y del significado de la materia-tierra y de su relación con el cosmos. En esta etapa de nuestra cultura, del hombre en la definición de B. Franklin como un *tools making animal*, del ser tecnológico, Chillida se pregunta por el significado de nuestra existencia, sin renunciar a los milagros técnicos de nuestra civilización. Explotando las canteras por dentro Chillida busca respetar los mismos fenómenos que reverenciaban nuestros antepasados: la vital relación entre lo profundo de la tierra y el sol, la mar y la luna.

Así como el artista está acostumbrado a preguntar a la materia sobre lo que quiere ser, a forzar a la materia hasta el equilibrio máximo adonde puede llegar, se puede apreciar en esta obra de Chillida cómo el escultor pregunta a la técnica sobre lo que quiere ser, y hasta dónde puede y debe llegar. Pero en la pregunta a la técnica, sobre el límite constructivo que se pretende, se une la necesidad de que aquello que se logre utilice los medios estrictamente necesarios para el fin que se quiere alcanzar.

El paisaje es un concepto que el hombre crea: **es una construcción cultural.** Hablamos por igual de un paisaje de Provenza o de un paisaje de Cezanne. Un paisaje es cultura antes de que sea naturaleza. La percepción del paisaje está condicionada y depende de la percepción total sobre la vida.

Chillida no intenta construir o reconstruir un monumento megalítico. La fuerza panorámica de la Montaña es demasiado impresionante para construir sobre ella, en su exterior. Chillida quiere marcar su interior y emplazarse en comunicación con el paisaje. Además desde la altura de la escultura se divisa un paisaje aún espléndido, no sometido todavía a ninguna vejación, ni industrial, ni de ningún tipo. Es también una construcción de arte *land-art*, un enorme grabado en piedra del escultor.

Esta mezcla de valores estéticos (paisaje, grabados prehistóricos, arte contemporáneo) proporciona a la Montaña un gran **prestigio cultural,** que no deja de ser un importante activo escultórico.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESCULTURA

Morfológicamente la obra diseñada por Eduardo Chillida se compone de una gran cámara central de proporciones básicamente cúbicas, pero en la que es difícil encontrar el ángulo recto, y cuyos lados podrían llegar a medir más de 50 metros, estando las dimensiones finales supeditadas a los estudios geotécnicos definitivos. Aunque de grandes proporciones la escultura supone únicamente el 0,3% del volumen de la montaña.

La cámara tiene una gran embocadura horizontal, orientada al oeste, desde la que se divisa el horizonte y el mar. Se ha situado escondida en el pliegue oeste de la montaña, aprovechando una cantera y un camino existente,

que servirá de acceso. El nivel de la embocadura de entrada se encuentra unos metros más bajo que el nivel del suelo de la gran cámara de modo que los visitantes que transiten por el túnel no interferirán la línea de horizonte del espectador.

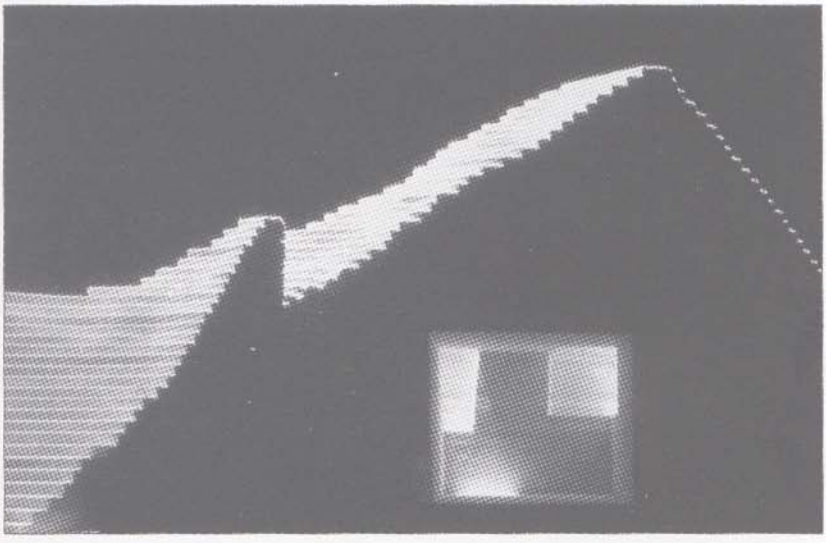

Figura 4. Imagen de la maqueta abierta mostrando el interior del espacio. 1995.

Completan la escultura otras dos embocaduras verticales encajadas en las esquinas superiores opuestas a la de la entrada del gran espacio. Son las embocaduras del sol y la luna, a través de las que la obra recibe principalmente su iluminación. La embocadura del Sol se ha acoplado en el lado sur de la montaña y la de la Luna en el lado norte, buscando una luz más fría. Estas dos aberturas afloran en la superficie de la montaña, una en la ladera norte y otra en la este, y lo hacen a ras de suelo, sin ningún elemento externo que denote en la distancia su presencia.

Se ha cuidado especialmente el contacto de las embocaduras de la escultura en su salida a la superficie de la montaña, situándolas de tal manera que exteriormente su impacto visual sea mínimo, amparándose en la cresta de la montaña que las separa. Con ello conseguimos que, desde el entorno de la montaña y desde su base, prácticamente no se perciban. Al estar ocultas por la geometría de la propia montaña, una respecto de la otra, es difícil ver la salida de las dos embocaduras a la vez.

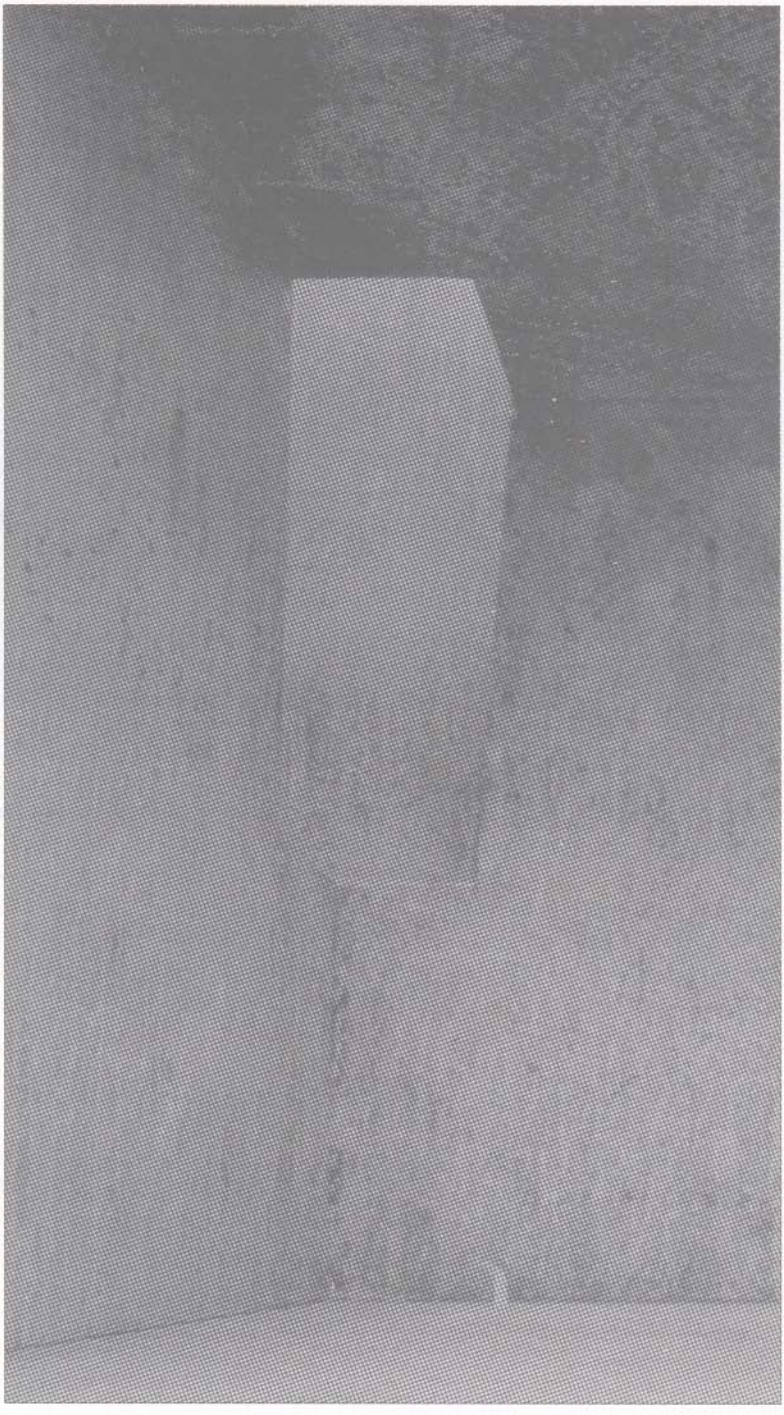

Figura 5. Foto de la maqueta. Detalle de la embocadura de la luna. 1995.

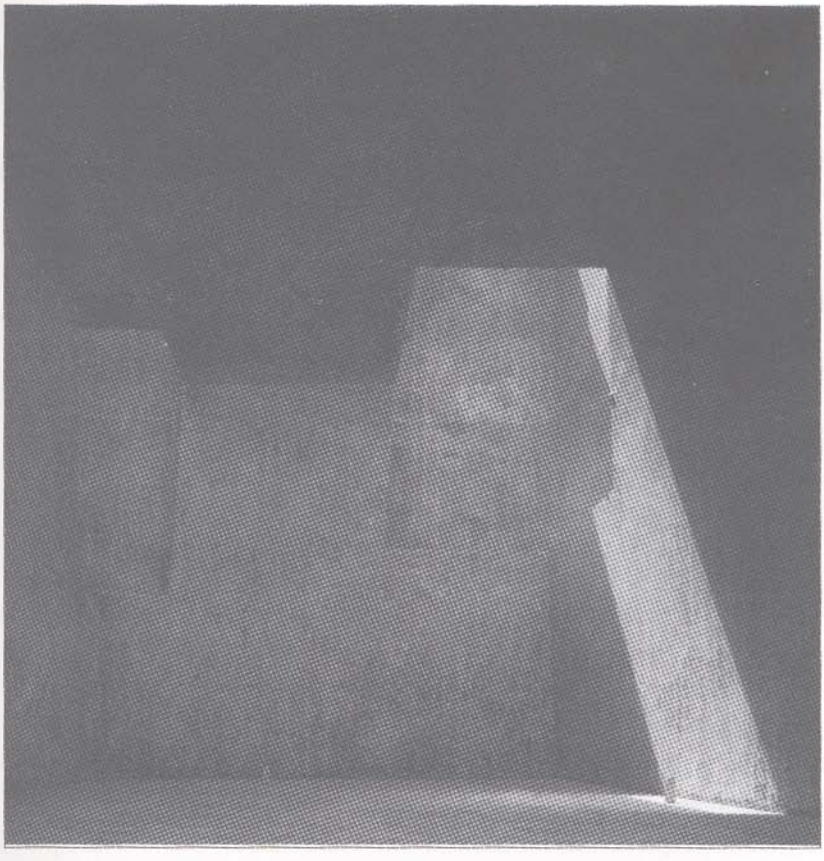

Figura 6. Maqueta. Foto del espacio de día. 1995.

Chillida deseaba hacer de la montaña de Tindaya más que una percepción **una experiencia**. No trata de alterar la percepción de la montaña sino de ponernos en contacto con ella. Tindaya es un espacio que cambia con el sol, con la luna, con el movimiento de las nubes, con el ruido del viento y con el mar, con el día y con la noche.

4. PODOMORFOS

La montaña de Tindaya es uno de los principales yacimientos de manifestaciones rupestres de la isla de Fuerteventura. Los grabados, realizados en la piedra ya por percusión ya por simple incisión, constituyen uno de los elementos más interesantes y a la vez desconcertantes de la prehistoria de las islas Canarias. Sobre ellos, y a pesar de la importante bibliografía generada en los últimos años, no hay hasta el momento ninguna conclusión sólida ni sobre su origen y significado, ni sobre su cronología.

Estos grabados son figuras geométricas en forma de siluetas esquemáticas de pie, realizadas con la técnica de picado y erosión sobre la propia piedra, o con hendidura de presión. Son llamados grabados geométricos de tipo podomorfal o simplemente grabados podomorfos.

Estos grabados rupestres se encuentran agrupados en paneles en la parte superior de la montaña en un número superior a los 200 ejemplares.

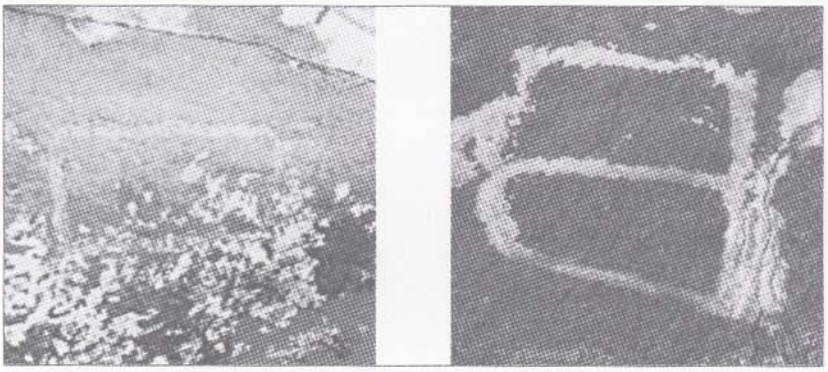

Figura 7. Foto de grabados podomorfos.

Los habitantes de la isla han considerado siempre la montaña de Tindaya como un lugar sagrado y normalmente como escenario de los cuentos de brujas y de misterio.

Si es evidente que estas manifestaciones rupestres majoreras aportan una huella cultural valiosísima del pasado insular- como un elemento cultural de especial importancia para el estudio de los orígenes de la cultura canaria- no menos evidente es que la manifestación escultórica de Eduardo Chillida desde dentro de Tindaya será una atalaya cultural para el futuro. La montaña sería así doblemente «sacralizada» como estación cultural: por una parte por la huella arqueológica, por otra por la huella del arte del siglo XX.

Los grabados podomorfos se encuentran a más de 100 metros de la ubicación del espacio de Chillida por lo que no son afectados por la escultura. Su preservación, y el establecimiento de un método científico de preservación y exposición, se recogerá como un trabajo complementario a la gran obra escultórica.

5. PUESTA EN MARCHA DEL ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

El 12 de Enero de 2001 el Consejo de Gobierno de Canarias tomó el acuerdo de poner en marcha el proceso para determinar la viabilidad técnica del Proyecto de Chillida para la Montaña de Tindaya.

El Proyecto Eduardo Chillida - Montaña Tindaya, es un Proyecto artístico cuya naturaleza requiere de un enorme esfuerzo, forzando al límite la capacidad técnica de la Ingeniería actual, no solo para permitir la realización de una obra subterránea de dificultad extrema por tamaño, y estricta morfología, sino también por otras restricciones que la escultura impone, propias de su expresión artística, como es que no se quiere hacer una estructura independiente que soporte la masa de piedra sobre el espacio, sino que se pretende hacer trabajar al propio macizo rocoso con la ayuda de un sostenimiento, o que la piedra de la superficie del espacio debe aparecer tallada directamente en la montaña, sin revestimientos.

Por todo ello, la materialización del Proyecto se ha concebido estructurada en fases que vayan proporcionando certezas respecto a la viabilidad a medida que se avanza en su realización, de modo que se justifique técnicamente la continuación de los estudios, y sus correspondientes presupuestos parciales, de cara a su materialización, o bien su abandono antes de inferir daños a la montaña de Tindaya, lo cual fue una preocupación fundamental del propio Chillida.

El Estudio Técnico se divide en tres fases. Al término de cada una se determina la viabilidad provisional del Proyecto, condición necesaria para pasar a la siguiente fase. Durante todo el estudio se desarrollan en paralelo actuaciones medioambientales con objeto de analizar y minimizar el impacto de los estudios «in situ». Las fases del Estudio son:

- Fase 1. Estudio de la geología de la montaña e investigaciones geológico-geotécnicas desde la superficie (incluida geofísica de la superficie), un Estudio de Alternativas, con sus correspondientes modelos numéricos, y la definición del alcance de la Fase 2.
- Fase 2. Investigación intrusiva de la montaña, incluyendo la perforación de sondeos y la realización de ensayos «in situ» y de laboratorio, para obtener parámetros geotécnicos del macizo rocoso, confirmar los parámetros del diseño inicial y conocer la estructura interna de la Montaña.
- Fase 3. Realización de cálculos y simulación por ordenador para finalizar el diseño detallado del sostenimiento del espacio, las embocaduras y la galería de acceso, la elaboración del Proyecto de Construcción para licitar los trabajos, y el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental.

La primera fase del proyecto, consistente en investigaciones geotécnicas de superficie, finalizó el pasado noviembre con resultados muy positivos respecto a la idoneidad del lugar elegido por Chillida para la ubicación de su obra. Los modelos numéricos muestran unos niveles de esfuerzo y desplazamiento bajos que harían viables las soluciones de sostenimiento propuestas. Por ello se decidió recomendar iniciar la Fase II (de sondeos) que actualmente se encuentra en proceso de adjudicación mediante concurso público.

6. EL EQUIPO

Se ha creado un equipo internacional multidisciplinar para llevar a cabo el Proyecto, que incluye disciplinas como arquitectura, geología, geotecnia, minería, ingeniería civil y medioambiental, telemetría, sismología, vulcanología, modelación numérica, gestión de riesgos, entre otros. Participan como consultoras las Ingenierías OVE ARUP y Scott Wilson Piesold. Así mismo el equipo de Santiago Hernández Fernández y D. Francisco Díaz Pineda están desarrollando los estudios Medioambientales y de Impacto Ecológico, y proponen las medidas correctoras a todas las actuaciones que se llevan a cabo en la montaña.

Al tratarse de un Proyecto muy singular, sin precedentes en el mundo de la ingeniería subterránea, se ha creado un panel de expertos, con algunos de los mejores especialistas del mundo en Geotecnia y Mecánica de Rocas para asesorar durante la ejecución de los estudios que, en principio, está integrado por el Profesor Evert Hoek, el Catedrático de Mecánica de Roca de la U.P.M., Alcibíades Serrano y el Profesor Claudio Olalla (Profesor Titular de Geotecnia de la U.P.M.)

7. MARCO LEGAL

Aunque la montaña de Tindaya está clasificada como Monumento Natural aplica sobre ella una extensa red normativa y de derechos. La montaña está sometida a una parcelación de aproximadamente 50 propiedades, y soporta una malla de cuatro cuadriculas mineras, cuyo fruto fue la creación de varias canteras. Entre otras, la normativa que afecta a la montaña es la siguiente:

- Declaración de «Monumento Histórico Artístico», a favor del yacimiento arqueológico de la montaña de Tindaya.
- Declaración de «Bien de Interés Cultural»
- Declaración como «Paraje Natural de Interés Nacional»
- Reclasificación como «Monumento Natural».
- Normas de Conservación del Monumento Natural de Montaña Tindaya (Fuerteventura).
- Plan Insular de Ordenación de Fuerteventura.

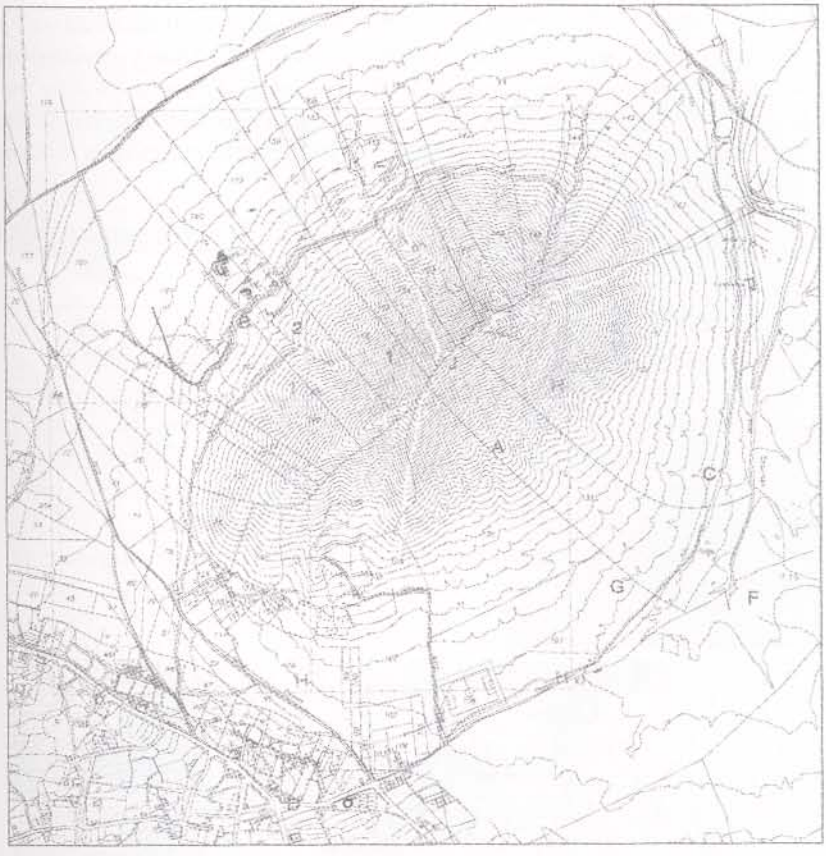

Figura 8. Plano de normativas que afectan al Monumento Natural.

8. FASE I DEL PROYECTO TÉCNICO. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

8.1. Geología

Las investigaciones geológicas realizadas han permitido definir la formación geológica de la montaña de Tindaya. Se trata de una intrusión lacolítica de traquita en el complejo volcánico original, que más tarde estuvo expuesto a una erosión masiva, posiblemente por deslizamientos de ladera. La zona de contacto entre la traquita y el basalto original se ha identificado en el lado este de la montaña, y la teoría postula que el lacolito[1] se extiende hacia el oeste, uniéndose con el monte Tebeto. A partir de los trabajos de teledetección y los trabajos de campo, se considera que la Montaña de Tindaya

[1] Un lacolito es una intrusión tardía de masa magmática de gran extensión, con la superficie inferior plana y la superior convexa, insertada en el cuerpo del volcán principal.

consta de dos partes diferentes: una área de traquita «laminada» al este, y un cuerpo de traquita «macizo» que forma la masa central y occidental de la montaña. La diferencia entre ambas áreas se debe al modo en que se formó el lacolito. El espacio de Chillida está situado dentro del cuerpo de traquita «maciza», donde existen mejores y más uniformes condiciones de roca. La montaña está cruzada por diques de basalto.

Algunos de los datos de la piedra de la montaña Tindaya son las siguientes:

Tipo de piedra:	Traquita
Composición:	Feldespato 85% Cuarzo 15% Carbonatos 3%
Ensayo a compresión simple:	800-1000 Kg/cm^2
Densidad:	2450 Kg/m^3
UCS:	80-120(Mpa)
Abrasividad Cerchar:	2,4 (poco abrasiva)

Figura 9. Imagen de satélite de la montaña.

Figura 10. Foto de un dique de basalto en lo alto de la montaña.

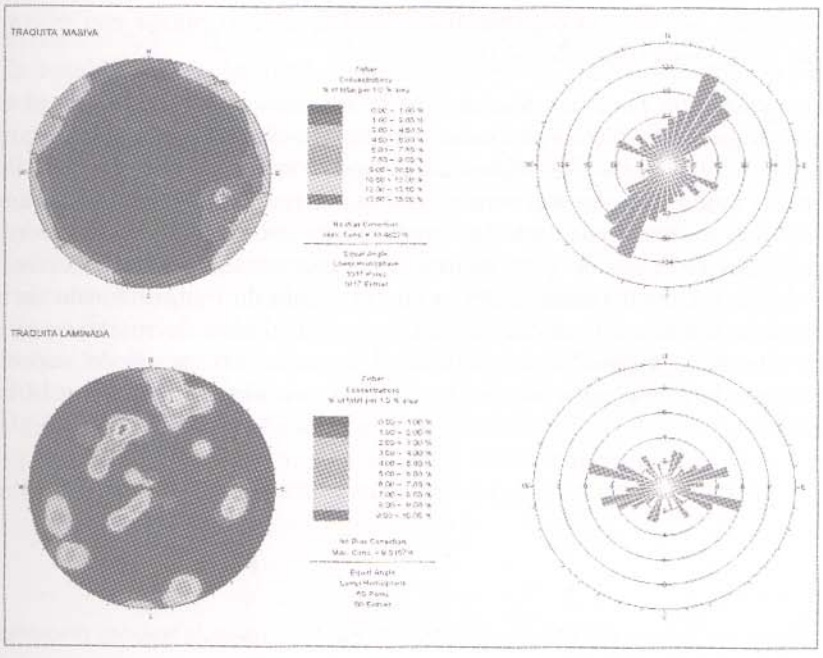

Figura 11. Estereograma de las familias de diaclasas.

Gracias a la teledetección y a los trabajos geológicos de campo se han identificado las principales discontinuidades que afectan al espacio. Se han identificado siete diques de basalto que pueden pasar cerca de, o interceptar, el espacio, el túnel o bien las embocaduras. Estos diques se han estudiado en un modelo en 3D y, en esta fase, desde el punto de vista técnico parecen pocas las ventajas de desplazar la escultura, ya que no hay otras ubicaciones que tengan menos interacciones con estas discontinuidades. La investigación intrusiva que se va a realizar en la Fase II proporcionará más información sobre la localización de los diques[3] y las diaclasas[2] principales dentro del macizo rocoso, lo que permitirá evaluar mejor su impacto sobre el espacio. La presencia de los diques y las diaclasas principales representa variaciones localizadas o discontinuidades en la naturaleza de la masa rocosa que deberán modelizarse específicamente. Puede que sea necesario adaptar soluciones específicas de ingeniería en estas áreas para superar cualquier debilidad localizada, no obstante, para la ingeniería principal, ARUP, su presencia no significa necesariamente que el Proyecto no sea viable.

El trazado de mapas realizado ha identificado seis familias de diaclasas dentro del macizo rocoso. Las familias principales son prácticamente verticales, con espacios entre diaclasas de 2 a 4 metros en la superficie de la montaña. Se han recopilado datos sobre la resistencia de éstas, aunque, como se encuentran degradadas, las características de resistencia medidas han de tratarse con cautela. La estabilidad de la caverna depende de la interacción de estas diaclasas, por lo que esta interacción deberá estudiarse con mayor detalle en las siguientes fases del estudio.

La investigación geofísica sísmica de la montaña ha confirmado el alcance de la meteorización de la superficie de roca, que se extiende hasta aproximadamente 15 a 30 metros de profundidad por debajo de la superficie. Como el espacio va a estar situado aproximadamente a mas de 50 m por debajo de la superficie, estas investigaciones indican que estará en un área de roca sana, con celocidades de onda de compresión de aproximadamente 4.000 m/s. El estudio geofísico ha confirmado además que el grado de meteorización de la roca (que está relacionado con el cambio en las propiedades de resistencia) es menor en lo alto de la montaña, donde tendrá lugar la excavación del espacio Chillida, comparado con el que se observa en las canteras situadas en la base de la montaña.

[2] Los diques son intrusiones filonianas de basalto en el macizo de la traquita preexistente, que aprovechan las zonas de debilidad.

[3] Las diaclasas o juntas son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos.

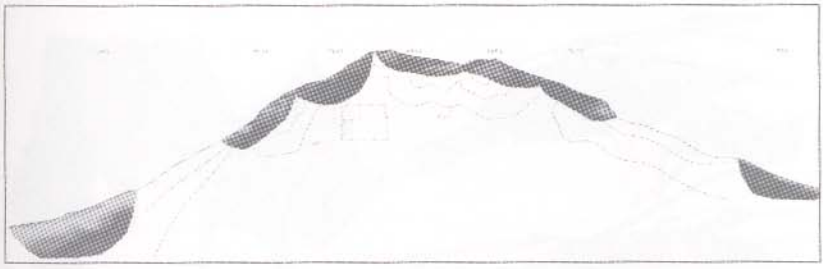

Figura 12. Perfil longitudinal de geofísica de la montaña.

8.2. Macizo rocoso y clasificación

Se han efectuado también ensayos de laboratorio en muestras recogidas de las canteras. Estos ensayos confirman que la roca tiene unas buenas propiedades en cuanto a resistencia y han aportado parámetros que han sido utilizados en los modelos de cálculo iniciales. También muestran una clara diferencia de propiedades entre la roca muy bandeada procedente de la cantera sur y la de las dos canteras occidentales. Esto apoya la teoría de que la mayor coloración de la roca se debe a una mayor meteorización.

8.3. Modelos de construcción preliminares

El elemento más crítico del Proyecto es el sostenimiento necesario para asegurar la estabilidad de la gran cubierta plana. Se han desarrollado una serie de soluciones alternativas para este sostenimiento, cada una con ventajas y desventajas, y diversos grados de conservadurismo. Para investigar la vialidad de estas opciones, se llevaron cabo varios análisis de elementos finitos en 3D que consideraban la masa de roca como un continuum, en el que se introdujeron también discontinuidades cruzando el espacio, para evaluar el nivel general de esfuerzo y las deformaciones que existirían si la masa de roca no tuviera sostenimiento. Aunque necesita efectuarse un trabajo de cálculo más sofisticado en fases posteriores del Proyecto, los resultados de estos análisis no sólo han ofrecido confianza respecto a la viabilidad del Proyecto, sino que también han confirmado que la solución más sencilla, consistente en el uso de pernos de anclaje y bulones, es probablemente factible para el sostenimiento de la cara superior de la escultura. Los análisis muestran que el macizo rocoso no sufre sobretensión y las deformaciones son pequeñas en cada caso.

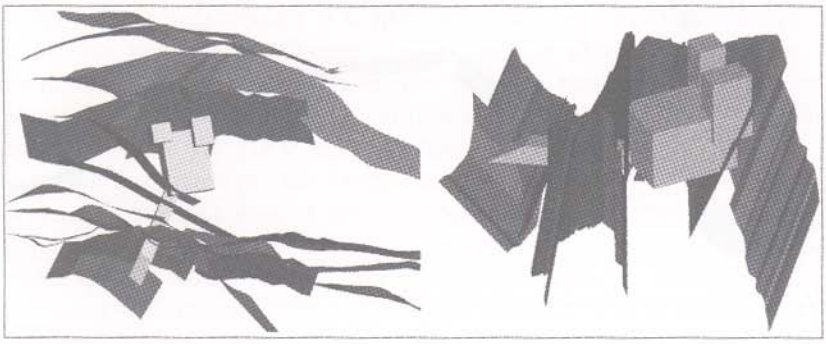

Figura 13. Modelo 3D con el espacio y los diques.

Se ha propuesto una secuencia de excavación en la que solo se necesita el acceso de maquinaria y personas desde la que será la galería de entrada del espacio, minimizando así el impacto ambiental durante la obra. En este primer estudio se ha considerado la construcción de unas galerías de avance desde la entrada hacia el centro de la montaña y luego hacia arriba, una vez que ha alcanzado la zona del espacio y las embocaduras verticales. Después se ensancharán las embocaduras verticales, y se excavará y anclará el techo del espacio, para posteriormente excavar el espacio, y ensanchar el túnel de la entrada.

Para el establecimiento de las instalaciones y los equipos de obra se ha previsto utilizar las zonas degradas que, debido a las canteras existentes, ocupan actualmente aproximadamente un 10% de la superficie del Monumento Natural. Se trata de un medio extremadamente sensible, en el que cualquier acción fuera de los caminos deja su cicatriz, por lo que se ha previsto restringir todas las actividades a los suelos ya afectados. Hay una cantera al pie de la futura entrada a la escultura que permite la aproximación de toda la maquinaria. De esta forma cuando acabe la obra se podrán restituir estas superficies al estado previo a la existencia de las canteras.

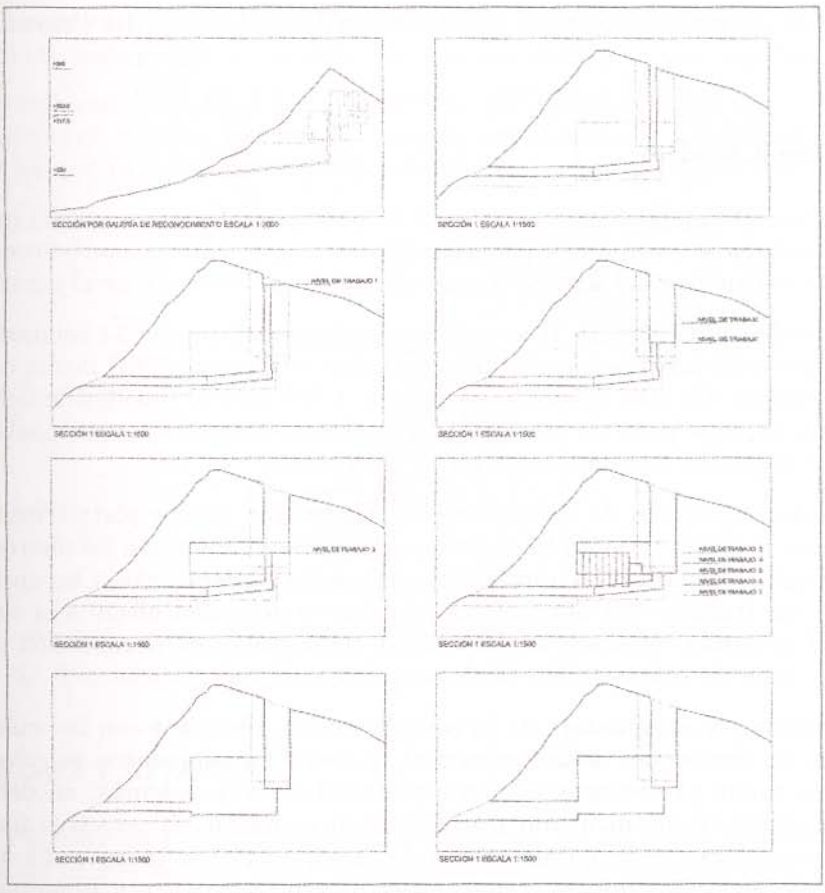

Figura 14. Esquema de proceso constructivo.

8.4. Conclusiones de la Fase I

Los estudios de la Fase I han confirmado que la escultura estará situada en un área de roca sana en buen estado. Se ha propuesto diversas alternativas para la solución del sostenimiento y el procedimiento de construcción. Los cálculos iniciales indican que el valor de los esfuerzos no es excesivamente alto y que las soluciones propuestas posiblemente sean factibles.

Se concluye que, con los datos disponibles actualmente, no hay nada que indique que la construcción de la escultura no sea viable. Sin embargo, aún existen importantes incertidumbres y riesgos para el Proyecto debido a la naturaleza desconocida de los materiales que se encuentran bajo la superficie de la montaña. Por lo que se recomendó que el Proyecto proceda a los trabajos de investigación de la Fase II, que proporcionarán más informa-

ción sobre el macizo rocoso y establecerán la viabilidad del Proyecto con mayor certeza.

8.5. Fase II, sondeos

La Fase II del proyecto consiste en la obtención de muestras del interior de la montaña y su análisis posterior para conocer las características de la roca y la estructura del macizo rocoso allí donde se desea crear el espacio.

Los trabajos de la Fase II se centran en la realización de 14 sondeos (perforaciones de 10 centímetros de diámetro), con una profundidad media de más de 100 metros. De esta forma, se extraerán 1.705 metros lineales de delgadas columnas de roca para su estudio. Las muestras obtenidas serán analizadas tanto en la propia montaña como en el laboratorio.

Para la realización de los sondeos se construirán cuatro plataformas temporales en la zona norte de la montaña, de aproximadamente 80 metros cuadrados, que albergarán los equipos de perforación y permitirán a los operarios realizar sus trabajos con normalidad, sin que su actividad afecte a la superficie de la montaña. Además, se dispondrán dispositivos de decantación y reciclaje del agua de refrigeración de la máquina perforadora.

El montaje y desmontaje de la plataforma se efectuará con las máximas medidas de protección medioambiental, y todos los elementos se colocarán sobre las capas protectoras de fibra geotextil y PVC. Además, en determinados lugares se añadirá una protección de neopreno. El objetivo final de estas protecciones es la no alteración de la superficie de la montaña de forma que las personas que la visiten en el futuro no adviertan ninguna diferencia con la situación actual. Los grabados podomorfos no se verán afectados por el estudio de la fase II, ya que se encuentran a 100 metros de las plataformas.

Algunas de las medidas de protección ambiental para la Fase II del Estudio Técnico son las siguientes:

- Transporte en helicóptero de materiales y maquinaria
- Protección de la superficie de la montaña bajo las plataformas de perforación mediante láminas de geotextil y PVC, relleno posterior de las perforaciones con limo de la propia montaña y minimización del impacto paisajístico con redes miméticas.
- Recogida y reciclaje del agua de refrigeración de las máquinas perforadoras.
- Programa de Formación Ambiental para todos los operarios que participen en las operaciones.
- Plan de Seguimiento y Control Ambiental que vigilará el inicio, la instalación de los taladros, las perforaciones y la finalización de los trabajos.

- Plan de restauración Ambiental. Análisis de la situación antes y después de los trabajos y restauración en caso necesario.

Los trabajos de la Fase II del proyecto, que tienen una duración prevista de cinco meses, cuentan con un presupuesto aproximado de 1,5 millones de euros, de los que la mitad corresponde a medidas de protección medioambiental.

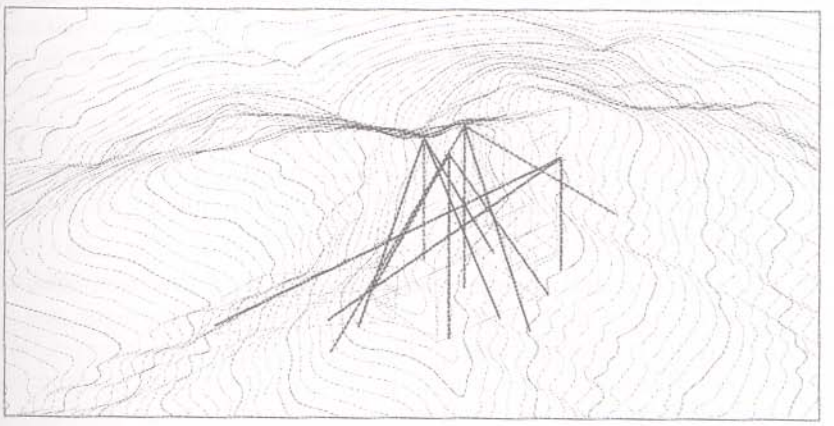

Figura 15. Esquema sondeos.

9. LA OBRA Y SU PAISAJE

El Proyecto ha generado una cierta polémica, en un sector minoritario de la Isla, de la que se han hecho eco algunos medios de comunicación. La obra artística consiste en una escultura excavada en el interior de la montaña. Su existencia idealizada sobre la base del Proyecto alteraría escasamente la apariencia de este espacio natural.

La raíz de la polémica no es artística: Tiene su fundamento en consideraciones de carácter religioso sentimental y ambiental. Las primeras vienen determinadas por el hecho de que en Tindaya existen grabados rupestres que han otorgado tradicionalmente a esta montaña el carácter de lugar sagrado entre los habitantes de Fuerteventura. Desde el punto de vista ambiental, la ejecución del Proyecto podría tener repercusiones varias en un espacio que, como el territorio de Fuerteventura, carece de modificaciones severas debidas al desarrollo económico (industrias e infraestructuras), y merecen ser determinada por los costes ambientales de la ejecución y la permanencia de la escultura proyectada, teniéndose en consideración los presumibles factores ambientales interesados paisajísticos, ecológicos, sociales y económicos y las incidencias derivadas de las técnicas y procedimientos empleados en la ejecución. La importancia del proceso implica contrastar estos costes con sus beneficios socio económicos y culturales.

Chillida entendía su obra unida al paisaje que la rodea. La montaña, el llano y el horizonte que mira al mar son elementos esenciales de la escultura. Como él, nosotros creemos que el proyecto no puede llevarse a cabo sin la adecuada protección de ese paisaje. En este caso tan singular es la intervención humana, la visión de un artista, la que genera la protección del territorio circundante. Que una obra de arte necesite del entorno para el que se ha pensado no es un hecho único, pero no es habitual que se proteja un amplio territorio para que esa obra pueda existir tal y como fue soñada, y para que sus futuros visitantes puedan apreciar la relación entre la escultura, la montaña y su llanura.

Actualmente y a raíz del Proyecto, el Plan Insular de Ordenación de Fuerteventura salvaguarda ya todo el entorno de la montaña de Tindaya en un radio de cinco kilómetros y hasta el mar. El objetivo es que en un futuro próximo ese entorno obtenga la máxima protección legal.

En lo más esencial del planteamiento de esta obra artística está la minimización de repercusión de la actividad humana y su integración con nuestro entorno. Se trata de una obra subterránea cuya única implicación exterior son las embocaduras, diseñadas de manera que sean prácticamente imperceptibles para el observador externo. Una cantera cuyo subproducto se convierte en una maravillosa obra de arte. Establece así una extraña realización con la montaña, a la que por un lado extrae la piedra y por otro la protege. Implica una concepción de acción del hombre en la que se compromete a una integración y admiración mutua con el Medio Ambiente. Nos ofrece una visión de nuestras acciones sobre el territorio diferente de la que estamos acostumbrados a ver, en la que todas las acciones buscan sinergias. Esta premisa convierte el Proyecto Eduardo Chillida – Montaña Tindaya en una obra singular y un reto apasionante para cualquier proyectista.

El equipo medioambiental del proyecto técnico ha aportado la imprescindible sensibilidad ambiental y el conocimiento del medio extremadamente sensible en el que se ubicará la escultura de Chillida. También ha redactado los Estudios Básicos de Impacto Ecológico para las diferentes actuaciones de investigación llevadas a cabo en la Montaña de Tindaya durante la primera fase de los estudios. Ha sido muy importante para el resto del equipo técnico poder trabajar con suficientes garantías respecto a la verdadera repercusión que esta obra tendrá en el medioambiente, y a su bondad, gracias a la aportación de una visión coincidente con el planteamiento original de Chillida.

Como es conocido, el hecho de que se acusara a Chillida de realizar una obra agresiva con el entorno, e incluso especulativa, le dolió enormemente, ya que esta acusación carecía de todo fundamento, y es opuesta a su pensamiento y a su planteamiento para Tindaya. Que los miembros del equipo medioambiental, de enorme prestigio, e independencia reconocida, hallan coincidido en la visión del entorno de Tindaya, tal como se planteó originalmente nos ayuda a ratificarnos en varias cuestiones fundamentales para este Proyecto.

- La obra artística en sí no afecta al medio ambiente de la Montaña de Tindaya, ni a su entorno ecológico. Es una obra subterránea con la única implicación, o impacto paisajístico, en la salidas de las embocaduras a la superficie.
- El riesgo para el medioambiente y el entorno ecológico no proviene de la escultura sino de su construcción y de su gestión, una vez tallada. Esto es algo que compete a la bondad de los equipos técnicos, los contratistas y los gestores, y sin duda, con los presupuestos adecuados se pueden poner medios para controlar cualquier deficiencia.
- Chillida entendía su obra, en la naturaleza árida de Fuerteventura, salvaguardando y uniéndose al paisaje que rodea Tindaya, y especialmente al horizonte que mira al mar y a las colinas que coronan el noroeste. No puede existir el Proyecto de Tindaya sin la salvaguarda de ese paisaje.
- Si no se construye la obra de Chillida, el paisaje circundante, al cabo de unos años, se verá amenazado y sometido a la presión urbanizadora y colonizadora circundante (tal como ha ocurrido hasta ahora).

Se evalúan actualmente diversas alternativas de gestión del territorio que conforma el amplio paisaje a proteger. Debido a la mala experiencia que han creado operaciones especulativas en el entorno cercano el equipo piensa que, para que la obra sea viable conceptual y medioambientalmente, el modelo de gestión ambiental del ámbito que marcó Chillida como mínimo necesario (El llano hasta el mar, y las colinas circundantes) necesita una figura de protección superior, de forma que sea aún más difícil su manipulación irresponsable en el futuro.

Cualquier protección de grandes superficies de paisaje implica la imposición de obligaciones y restricciones sobre extensiones de terreno que obligará a la creación de un sistema de compensación de sus propietarios. La propuesta del posible sistema de compensación sigue en debate dentro del equipo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Texto extraído de diversos artículos de Kosme de Barañano, Catedrático de Arte UPV.
(2) Texto extraído del Catálogo de la Exposición «Montaña Tindaya – Eduardo Chillida», 1996, de Kosme de Barañano y Lorenzo Fernández-Ordóñez y publicado en diversas revistas posteriormente.