



**ARMONÍA FRACTAL
DE DOÑANA Y LAS MARISMAS**

Héctor Garrido • Juan Manuel García Ruíz



A Miriam y Martha

ARMONÍA FRACTAL
DE DOÑANA Y LAS MARISMAS

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
© Héctor Garrido y Juan Manuel García Ruíz.

© Fotografías: Héctor Garrido/EBD-CSIC
© Fotografías de posicionamiento: Instituto de Cartografía de Andalucía (Junta de Andalucía)

Diseño y maquetación: Jose Antonio Sencianes/EBD-CSIC

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de propiedad intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta ni del interior puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en manera alguna por medio ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito de la editorial. Las noticias, asertos y opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, sólo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

ISBN: 000-00-00-00000-0
Depósito legal: M-00.000-000

www.armoniafractal.com

El artículo "La piel de Doñana", publicado en El País Semanal el 26 de octubre de 2008, que incluye parte de las fotografías de este libro y exposición, ha merecido el Premio Nacional de Periodismo Doñana Sostenible en la modalidad fotografía otorgado por la Fundación Doñana 21.

ARMONÍA FRACTAL DE DOÑANA Y LAS MARISMAS

Héctor Garrido • Juan Manuel García Ruíz





agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a las personas y entidades que han hecho posible que este trabajo vea la luz. Muy especialmente al personal de la Estación Biológica de Doñana/CSIC que sufrió la invasión del Pabellón de Perú para el montaje de la exposición.

A Luis Landero, Odile Rodríguez de la Fuente, José Benito Ruiz, Paddy Woodworth, Francisco Correal, Juan Manuel Varela, Diego Escarlón, José Luis Sanz, Regla Alonso, Miguel Delibes, Ramón Masats, Erika López, Ezequiel Martínez, Juan Carlos Rubio, Juan Luis Arsuaga, Alberto Donaire, Francisco Márquez, Joaquín Araújo, Manuel Garrido Palacios, José María Montero, Joaquín Fernández, Mario Sáenz de Buruaga, José Saramago, Josefina Maestre, Alejandro Víctor García, Francisco Hortas Rodríguez Pascual, Jorge Drexler, Cipriano Marín, Phill Ball, Fernando Hiraldo, Barbara Din, Benigno Bayán, Pilar del Río, Enrique Pérez, Kandor Graphics, Trevenque S.L., Raúl Sojo, Instituto de Cartografía de Andalucía (Junta de Andalucía), José Manuel Luca de Tena, Nacho Martín, Manuel Sánchez, José Hidalgo Retamino, Manuel Vázquez Martínez, José Rodríguez Calzada, Israel Rodríguez Serrano, Juan Antonio García, Maquetas Luca de Tena, Analiter S.L., Fly-in Spain, Hans Nerlinger, Dinasa/Dinascan, Murohi, Artes Gráficas Impresol, Ricardo Díaz-Delgado, Miriam Gómez, Martha Santana y José María Fernández Palacios.

Al Servicio de Cultura Científica del CSIC en Andalucía: Yolanda Díaz, Erika López, Selene Garrido, Teresa Ochoa de Zabalegui, Iván Alonso y José Antonio Sencianes. Fermín Otálora hizo posible que muchas de nuestras ideas se transformaran en realidad virtual. Este trabajo hubiera sido imposible sin el empuje de Fernando Hiraldo Cano, que en este caso y una vez más, fue el verdadero nexo de unión entre la ciencia y el arte.



fotografiar desde el aire

Cada uno de nosotros podría ser poco más que el resultado de una mezcla de lo vivido y de lo heredado. La proporción en que se mezclen ambas cosas es lo que el individuo aporta, lo que cada cual modela sobre su propio boceto primigenio. En mi caso, andaba ahora haciendo una retrospectiva al origen del que provengo y no me ha parecido extraño que hoy esté escribiendo estas líneas para comenzar un libro de fotografía aérea de las marismas. Es más, visto a través de la perspectiva del tiempo, parece casi una consecuencia lógica.

Resulta que una multitud de aviadores se me acumulan en la rama materna familiar. Algunos de ellos formaron incluso parte de esas élites de voladores que surcaban por primera vez los cielos de este país y de sus extensiones en África. En casa se hablaba de sus aventuras, de sus glorias y desdichas, de sus accidentes en los que salvaban la vida milagrosamente y de sus trapi-cheos para sobrevivir en tiempos de hambre. Por eso no es de extrañar que soñara tanto y tan frecuentemente con volar. Así, en la noche podía recorrer el cielo y entretenerme en cada detalle del suelo, en un sueño recurrente que se fue diluyendo cuando comencé a volar, en el sentido literal del verbo. Buscaba las ocasiones para volar allá donde hubiera una oportunidad, cuando no en una avioneta, era en un ultraligero o en un parapente. Finalmente tuve incluso por un tiempo mi propia ala delta.



Hoy vuelo cada mes sobre Doñana para realizar los censos aéreos de aves acuáticas para el Equipo de Seguimiento de Procesos Naturales de la Estación Biológica de Doñana/CSIC. Más de doscientos vuelos sobre este espacio singular me han curado de mi sueño, aunque no puedo negar que a veces aún añoro aquel volar en silencio y sin alas.

Mientras tanto, la marisma, en este caso la marisma del Odiel, fue mi lugar de esparcimiento cuando niño. Navegué junto a mis amigos por sus saladas aguas, sufrí sus corrientes y probé el sabor de su lodo. Las aves fueron durante años la excusa y el motor de mis aventuras marismeñas y verlas sobrevolar el mundo abrió una puerta más de mi imaginación.

Por otra parte, mi madre era fotógrafa y en casa había unos cajones maravillosos donde se guardaban sin cerradura las cámaras, los objetivos, los fotómetros e incluso algún carrete perdido que uno podía cargar y disparar. Convertí los aparatos y cubetas de su viejo laboratorio de fotos en mi cuartel de aprendizaje y mis primeros revelados se plasmaron sobre cajas de papel fotográfico que hacía años que había caducado. Descubrí el lenguaje de la fotografía, por tanto, al tiempo que iba creciendo, como los niños aprenden a hablar, sin mucha conciencia del grado de complicación de lo aprendido. Compartía con mis hermanos cada día sobre la mesa familiar unos primeros platos de diafragma, seguidos de segundos platos de velocidad de obturación y postres de encuadre. Muchas veces alimentaban más que la comida misma.

Finalmente mi padre era realizador de documentales en Televisión Española y un enorme escritor. Pero sobre todo era (y es, claro) un hombre apasionado de lo suyo que me enseñó a mirar más allá de lo estrictamente visual, a enfocar fuera de foco y a reencuadrar con otro encuadre. Resultó que, efectivamente, la fotografía también era un lenguaje. Y tremendamente locuaz.

Así que estos eran los ingredientes que se encontraban sobre el poyete de la cocina en la que fui creciendo. No es de extrañar, por tanto, que una buena parte de mi trabajo como fotógrafo se haya centrado en la fotografía aérea, tanto la obligada por mi profesión, con aplicaciones científicas y técnicas para el centro del CSIC donde trabajo, como la inspirada desde un sentir más próximo a la expresión artística y que ha formado parte de varias exposiciones y libros.

Y, de alguna manera, es por todo esto que acabo de contar, que siento hoy algo armónico y lógico al escribir estas palabras. Para mí, es como si ya hubieran estado escritas. Incluso antes de que empezara toda esta historia de aviones y fotografías.

Héctor Garrido,
Martinazo, 23 de noviembre de 2008.



La belleza como norte

La historia de esta exposición es un recorrido a lo largo de un camino cuyo norte ha sido siempre la belleza. Todo empezó cuando Fernando Hiraldo, director de la Estación Biológica de Doñana, me envió un paquete de fotografías de Héctor Garrido con una escueta nota: "Te van a encantar". Y me encantaron. Eran fotos aéreas de las marismas atlánticas, imágenes de una belleza extraordinaria, composiciones de color, forma y textura, que, en algunos casos, recordaban las obras de pintores modernos y contemporáneos. Las disfruté en la soledad de mi estudio y en los pocos ratos libres en el laboratorio; me aliviaron las esperas en los aeropuertos y las compartí, proyectándoselas a mis amigos y amigas de Granada.

Con el tiempo, cada vez que volvía a pensar en esas fotos, la textura y el color se desvanecían para quedar, siempre, las formas. Eran formas que no suelen encontrarse en las fotografías aéreas al uso, en las que predomina el paisaje urbano de nuestros pueblos y ciudades o el ordenado campo de nuestros cultivos. Estas imágenes enfocaban un paisaje natural. Yo había estudiado la génesis de las formas naturales en modelos a escala, en fotografías aéreas de lugares remotos e inaccesibles, en las altas cumbres, en los desiertos y cañones, en la superficie de Marte. Pero lo que fotografía Héctor desde el aire estaba a un paso de nuestras casas, en una marisma mil y mil veces fotografiada, pero jamás vista desde esta perspectiva, nunca captada con la intención de valorar lo inanimado: la propia piel de Doñana.

Lo que fotografía Héctor desde el aire es una tierra poco o nada hollada por el hombre. Es el paisaje generado por los trazos que deja sobre la tierra el juego en vaivén del agua y del viento. Son en muchos casos, la expresión canónica de la geometría fractal, la geometría con la que la naturaleza dibuja el paisaje y son el reflejo del sistema respiratorio de la marisma, es decir de su dinámica física, del mismísimo pulmón de Doñana.

Mi interés en esas fotografías aumentó porque en ese entorno, de escasa pero cierta actividad humana, debería ser evidente la transición, probablemente suave, entre esa geometría natural y la geometría creada por el hombre, la geometría euclidiana. Indagamos en los archivos de Héctor y allí estaban las otras formas, las que el hombre trazó, a base de línea y de cuadrícula, tan diferente de la curva, del trazo sinuoso con que dibuja la naturaleza. Fue la idea de ese duelo estético entre la geometría fría de la recta euclidiana y la cálida, sinuosa, geometría fractal de la naturaleza, lo que me sedujo definitivamente. Era evidente que merecía la pena mostrar esas fotos, exhibirlas al gran público, y también contarlas y explicarlas. Y sentirlas. Por eso, cada foto lleva un texto anexo escrito por científicos (como Juan Luis Arsuaga, Miguel Delibes o José Luis Sanz), literatos (como José Saramago o Luis Landero), músicos (como Jorge Drexler) periodistas (José María Montero y Ezequiel Martínez) o fotógrafos (como Ramón Masats o Francisco Márquez), que nos cuentan lo que le inspiraron alguna de esas fotos.



La exposición cuenta también con las simulaciones de ordenador de Fermín Otálora, que ayudan a comprender el valor añadido de esas fotos. Porque esta exposición aprovecha la marisma para hacernos pensar sobre geometría y aprovecha la geometría para hacernos pensar sobre la marisma y en general sobre nuestra tierra. Sabemos que el reto es enorme, pero es necesario que el ciudadano conozca las nuevas herramientas que nos ayudarán a describir mejor la naturaleza y a convivir con ella.

En fin, están ustedes ante una mirada diferente, una mirada que parece quedarse en la piel, pero que llega a lo más profundo de una tierra famosa y valorada por la vida que acuna y que acoge. Una mirada nueva que muestra que no hay nada más bello en Doñana que las formas que la naturaleza dibuja en la marisma. Ni tampoco nada más vivo.

Juan Manuel García Ruiz,
Granada, 5 de diciembre de 2008.

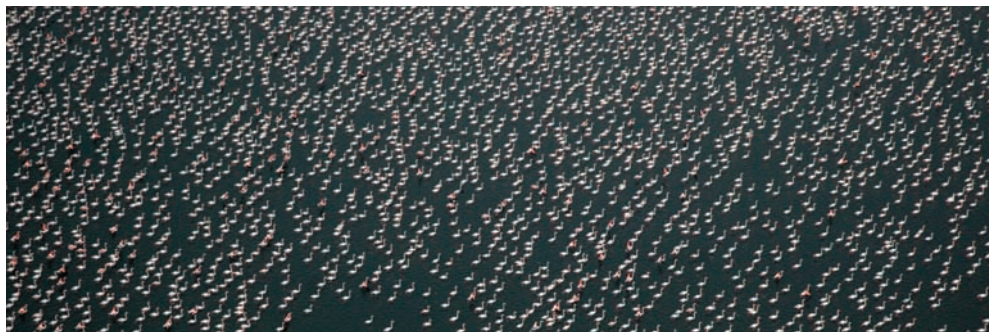


La piel de doñana



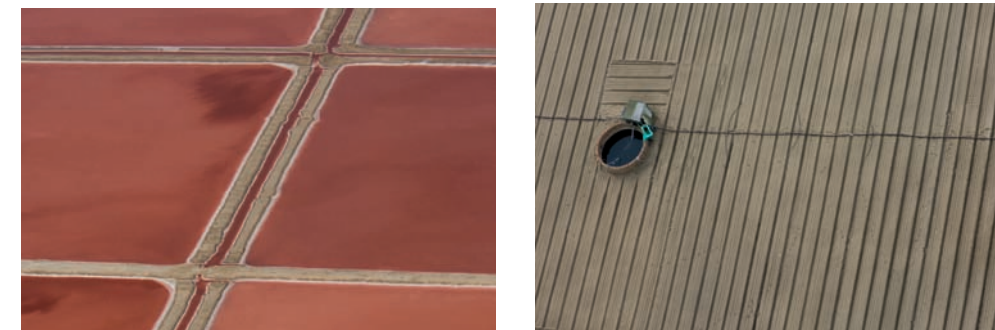
Día 12 de agosto de 2008; Hora 08:30. Aeropuerto de Jerez de la Frontera. Héctor Garrido camina entre los hangares hacia la plataforma de estacionamiento en la que está aparcada una Cessna-172. Sube a la cabina por el hueco en el que estaba la puerta que Hans, su piloto, ha desmontado durante la madrugada. La avioneta despegue por la pista 22 girando inmediatamente al punto whisky (oeste), tomando rumbo 230 hacia Sanlúcar de Barrameda. Al pasar el río Guadalquivir se adentra en LR92, una zona de vuelo restringida a la que ella -y sólo ella- tiene acceso autorizado. Estamos en Doñana y pronto sobrevolamos bandadas de aves acuáticas que están posadas en los escasos espejos de agua que deja el estío. Hans y Héctor llevan auriculares pero no usan el intercomunicador.

Héctor sujeta una pequeña grabadora con la mano derecha y con la izquierda dirige el vuelo, indicándole a Hans rumbo y altitud. La sincronización es perfecta. Va grabando el número de individuos que componen cada bando que avistamos. Héctor es censador de aves: 1.800 cigüeñas blancas, 375 espátulas, 410 gaviotas reidoras, 65 cigüeñuelas, 230 ánades reales, 870 avocetas. Para contar los individuos que componen un bando, un censador aprende a aislar mentalmente una parte del bando en la que cuenta el número de aves, divide el bando en tantas de esas partes como sea necesario y multiplicando, calcula el número total. Lo hace en décimas de segundo, tan rápido que se olvida de que lo hace así.



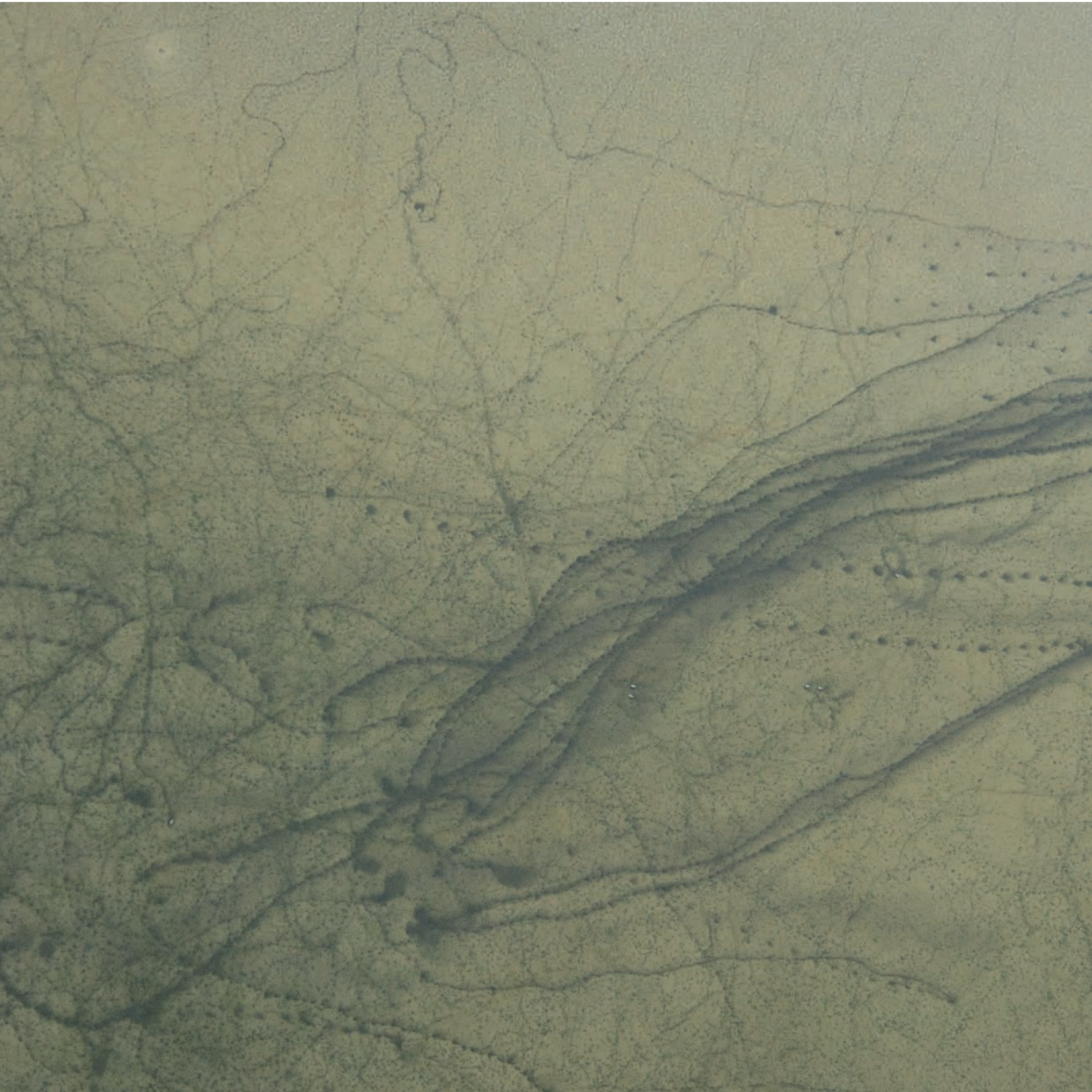
A veces, como cuando sobrevolamos un lucio que alberga 90.000 pájaros de distintas especies, el número de individuos es demasiado alto para identificarlas y entonces la CESSNA-172 realiza una maniobra en círculo para que las aves levanten el vuelo, facilitando el conteo y ofreciendo a la vez un delicado espectáculo de sincronía. De improviso, Héctor suelta la grabadora y agarra la cámara fotográfica con la mano derecha. Mira hacia abajo y ya ve el encuadre. Cámara en ristre, saca medio cuerpo fuera por el hueco donde debía estar la puerta, mientras con la mano izquierda sigue marcando las maniobras de la avioneta, que se inclina casi 60 grados y gira vertiginosamente pivotando sobre un ala. El ruido del motor Lycoming que monta la avioneta no deja oír el clic de la Nikon D2X, pero el gesto delata que el CCD registró el espectáculo mineral de la marisma. Héctor es fotógrafo. Lleva doce años haciendo este censo mensual para la Estación Biológica de Doñana y ha tenido el talento necesario para darse cuenta de que allí abajo hay algo más que pájaros. Eso otro que parece no moverse, aparentemente inane, es lo que recoge su rico repertorio fotográfico.

Cuando se vuela sobre Doñana a quinientos pies de altura, la misma desde la que la ven la cigüeña blanca y el flamenco, se es testigo de las formas que la naturaleza y el hombre han creado sobre el gran lienzo de la marisma. Son formas que, a ras de suelo, se ocultan en el horizonte plano e inmenso del bajo Guadalquivir, pero son las que crean la hermosa imagen que se atisba desde el cielo. Además de su innegable belleza, lo que me cautiva de esas imágenes sobre escenarios tan poco hollados, como los de la margen onubense del río, es que revelan cómo la naturaleza y el hombre pintan con distinto pincel los infinitos cuadros que encierra el paisaje. La diferencia está en la geometría. Por un lado, la geometría euclidiana, fría, trazada a ti-



ralíneas por la razón del hombre, a golpe de máquina, ya sea ésta un simple arado o una potente excavadora. Por otro, la cálida pero obstinada geometría fractal de la curva y de la bifurcación dibujada sensualmente por la naturaleza. Es una lucha titánica, de poder a poder, entre dos trazos, dos estilos distintos.

No ha sido una lucha eterna: durante cuatro mil quinientos millones de años son las fuerzas geológicas las que han dibujado las formas de este planeta. A ellas se les unió la vida hace unos tres mil millones de años, pero lo hizo como el fiel aprendiz del taller mineral, copiando, retocando aquí y allá pero sin romper el estilo del maestro. Dibujando redes de círculos, como los que deja el flamenco en los barrotes de los lucios cuando se alimenta; o fijando y dando color a las formas que la marea y el viento dibujaron, como los almajos, las espartinas y las algas que tiñen el paisaje fractal de la isla de Enmedio [página 51]. Llegaba entonces el hombre hace un par de millones de años y, como una especie más de la diversa vida, dibuja sobre la tierra sus senderos en busca de caza o de agua, senderos que se ajustan suavemente al relieve mineral, o que se bifurcan, como los que resultan del continuo paso de los animales que buscan en las mañanas del verano el agua en los Ojos de la marisma [página 43]. Pero el día en que el hombre tomó una rama horquillada y trazó una línea recta para airear la tierra y sembrarla, ese día comenzó a pintar el paisaje con la soberbia del aprendiz que desdeña al maestro, con un nuevo trazo que rompe con el estilo de miles de millones de años. Esa batalla estética comienza, pues, cuando el hombre rotura los campos arando con la perfección de la línea recta, como en los cultivos de regadío del entorno de Doñana, invitado en este caso por el agua fácil, somera, del pozo excavado en el suelo arenoso de la Dehesa de Abajo.



Es un retoque al paisaje, pero es un retoque tenue, una herida leve como lo es también la del estero que se acopla delicadamente a los bajíos de la marisma en San Fernando [página 84]. Algo más perturbadora es la cuadrícula, poderosa, humilladora cuadrícula, que borra todo indicio natural, como la que conforma las salinas de los Portugueses en Sanlúcar de Barrameda o las viñas sobre la marisma desecada o las plantaciones de arroz al arrimo del gran río. A medida que el hombre concibe nuevas máquinas, cada vez más potentes, la transformación del paisaje se hace más radical, más agresiva por la arrolladora y fría geometría de la urbanización, que amenaza los patrones naturales.

La geometría de la naturaleza surge de la iteración, de la repetición permanente de los mismos procesos, pausada pero pertinaz. Es la gota de agua, tras otra gota de agua, la que arranca partícula a partícula el trazo sobre la piedra dura y más fácilmente sobre la arena blanda o el barro de la marisma. De ahí nace la semejanza entre lo grande y lo pequeño, la autosimilitud, la repetición de la estructura a diferentes escalas. De ahí nace la bifurcación. Así se crean, por ejemplo, los árboles, los de la vida y los inertes, como la estructura arborescente dibujada por el agua vaciada en el lodo de la balsa de Veta la Palma, en Puebla del Río [página 56]. Una estructura ramificada similar a la que crea el Nilo en su gigantesco delta o a la del árbol esbelto que forman los diminutos canales por los que corre el agua rezagada de la bajamar cuando caminamos sobre la arena mojada de la playa. Es también idéntica, o mejor dicho, similar, a la que describiera Saramago para el Cementerio General en "Todos los nombres", una estructura que "observada desde el aire, ... parece un árbol tumbado, enorme, con un tronco corto y grueso, constituido por el núcleo central, de donde arrancan cuatro



poderosas ramas, contiguas en su nacimiento pero que después, en bifurcaciones sucesivas se extienden hasta perderse de vista, formando... una frondosa copa ... ". Contraria a la línea o a la cuadrícula, esa estructura ramificada es una estructura fractal propia de la naturaleza y por lo tanto, ubicua, literalmente universal. La misma que tienen nuestros pulmones, la misma por la que corre nuestra sangre, la misma por la que corrió alguna vez el agua sobre el planeta Marte.

La batalla estética entre esas dos armonías incompatibles que se destruyen una a la otra, es implacable. Por eso, las estructuras humanas requieren un continuo esfuerzo de mantenimiento, porque la naturaleza es sobre todo terca, siempre poderosa, y a veces dramáticamente despiadada cuando se le araña en lo profundo, cuando se hiere su frágil equilibrio, incitándola a conducirse como avalancha. Si el hombre no hace ese esfuerzo, la naturaleza toma el relevo e, igual que el pintor que trabaja sobre la obra repudiada, pinta con trazos fractales sobre la obra euclidiana del ingeniero. Así se refleja en el cargadero de mineral de Corrales, en las minas de Tharsis [página 52]. El orden que una vez el hombre creara, cuando no lo sostiene, es borrado por la naturaleza, que con la lluvia y la gravedad como pinceles, pinta con paleta de colores inimitable una soberbia acuarela mineral.

Ese relevo ocurre en particular en la marisma, uno de los escenarios más dinámicos de la tierra: ¿Dónde están los trazos de geometría euclidiana que debieron dejar los asentamientos tartésicos hace sólo algo más de tres mil años? ¿Dónde los de la famosa batalla, hace menos de doscientos años, en la isla que da nombre a los jardines parisinos del Trocadero? Están borrados por el juego de la marea, que crea en la bajamar estructuras, que la plea-

mar cubrirá, pero que la siguiente bajamar pondrá otra vez al descubierto tras retocarla con su mano erosiva, hasta pintar esos maravillosos ejemplos de geometría natural en la marisma mareal de la Bahía de Cádiz.

Así, año tras año, el juego de la tierra y el agua rediseña el paisaje de Doñana con formas que ayer considerábamos caprichosas, pero que hoy entendemos como la expresión canónica de la geometría fractal de la naturaleza. Esas formas –necesariamente efímeras- son el resultado de la dinámica física de la marisma. Una dinámica rica en un contexto geológico tan complejo y estructurado como el de los seres que lo pueblan, y por eso también tan frágil y tan inestable. Si aceptamos que armonía es la relación bella que existe entre el todo y cada una de sus partes o entre las partes del todo, entonces no hay nada más bello en Doñana que las formas que la naturaleza dibuja en la marisma. Ni tampoco nada más vivo.

De vuelta a Jerez observo cómo, bajo el ejército de cepas regularmente alineadas en los viñedos, asoma, dibujada por la humedad que aún almacena la tierra, la silueta de lo que un día fuera marisma. Me pregunto si este conflicto de geometrías ocurre ahí fuera, sólo ahí fuera, o si, por el contrario, estará también librándose en nuestras mentes. Si hemos estado biológicamente codificados para percibir la belleza de lo sinuoso, de lo intrincado, de la curva exuberante ¿se estará también gestando molecularmente una alternativa que sesgue nuestro concepto de belleza hacia patrones más fríos y regulares, hacia ritmos más exactos? Pienso en el monolito, signo de inteligencia, que Kubrick creó para su película "2001, una odisea del espacio", de aristas rectas y frías. Y entonces pienso en ella, en sus cálidas curvas.

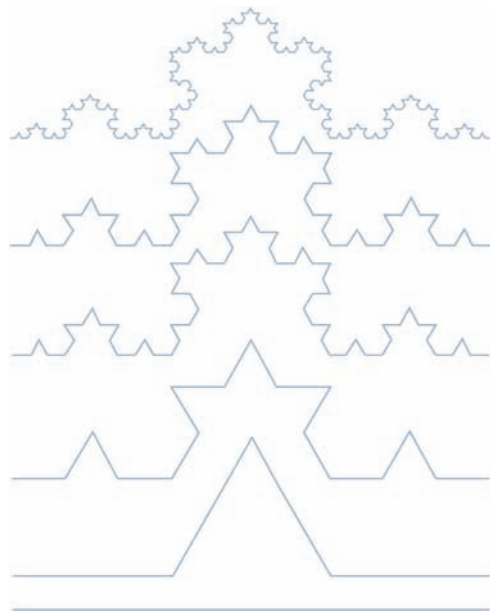


¿qué son los fractales?

En la segunda mitad del siglo pasado, Benoît Mandelbrot convenció al mundo científico de que la geometría euclidiana que usamos desde los tiempos clásicos no servía para describir la naturaleza. Que las montañas no son pirámides, que los árboles no son conos, que las líneas de costa no son rectas. Y propuso el uso de una nueva geometría que describe mejor la complejidad de las formas naturales: la geometría fractal.

La geometría fractal se manifiesta en todos los aspectos del paisaje, pero especialmente es aquellos lugares del planeta que no han sido transformados por la actividad humana. Por eso, en las marismas atlánticas andaluzas, probablemente el paraje mejor preservado de Europa, la geometría de la curva, de la frondosidad, se muestra en todo su esplendor, especialmente cuando se observa desde el aire, como en las fotos de Héctor Garrido mostradas en esta exposición. Las fotos de la exposición, muestran de alguna u otra manera características típicas de los fractales. Una de ellas es que son formas irregulares que no pueden ser descritas por las formas geométricas tradicionales. Trate de hacerlo. Sólo en una de las fotos encontrará una forma que puede ser descrita por una figura geométrica conocida.

Otra característica de las estructuras fractales es que son autosimilares, lo que quiere decir que las partes se parecen al todo. Las costas no son líneas rectas sino curvas formadas por cabos y golfos, grandes protuberancias que a su vez están formadas por entrantes y salientes, en lo que a su vez hay ensenadas y riscos. Un río es un cauce de agua al que llegan afluentes, y un afluente es un cauce de agua al que llegan arroyos, y un arroyo es un cauce de agua al que llegan riachuelos, y un riachuelo es un cauce de agua al que llegan barrancos, y un barranco es un cauce ocasional de agua al... Las estructuras arbóreas dibujadas sobre la marisma tienen a veces esa propiedad.



Pero otra de las propiedades más importantes de los fractales es que se generan repitiendo infinitas veces un sencillo paso o procedimiento. Eso se llama iteración. La mejor forma de verlo es creando una estructura exactamente fractal. Una de ellas, es la famosa curva de Koch, una de las estructuras fractales más conocidas. Su construcción es bien sencilla. Tomamos un segmento y lo dividimos en tres partes iguales. Reemplazamos la parte central por dos partes de igual longitud haciendo un ángulo de 60 grados, obteniendo así una curva con cuatro segmentos. Ahora dividimos cada uno de los cuatro segmentos de la misma manera, lo que generará 16 segmentos. Y así se continúa recursivamente. En el gráfico están reproducidos los seis primeros estadios.

Obsérvese que esta estructura es rugosa y cumple las propiedades de autosimilitud y de invarianza a escala: Note también que en cada paso, la longitud de la curva crece $4/3$ puesto que se sustituyen tres segmentos por cuatro segmentos de la misma longitud. Eso quiere decir que la longitud de la curva crece indefinidamente y que la longitud que se mide depende de la escala (del paso) en la que la midamos. Ese concepto, de dependencia de la longitud de una curva con la medida es importante.

Debido a la autosimilitud, se dice, por tanto, que las estructuras fractales no varían con la escala a la que se miren. La miremos a una escala u otra, siempre encontramos detalles, de forma que el aspecto de las estructuras fractales no varían con la escala.

El tamaño de lo que se observa en esta foto pudiera ser el que abarca la mirada de un niño jugando en la marisma, o la mirada del pescador que la atisba desde el puente, o la del flamenco que la vuela cada verano. Sólo la presencia de las gaviotas nos delata la escala de esta bella estructura creada por el barro y el agua, a la que la vida ha puesto color con una delgada tela de algas. Marismas de San Fernando (Cádiz).





¿cuánto mide una curva?

Cuando queremos medir una recta no tenemos ningún problema. Por eso el hombre inventó la línea recta y la geometría que se basa en ella, la geometría euclidiana. Por ejemplo, la línea de abajo tiene una medida exacta que se puede comprobar con el uso de una regla métrica.



Sin embargo, ¿cuánto mide la línea curva que se pinta más abajo?



No es fácil medirla. De hecho no tiene una medida exacta. Compruébelo usando una regla. Comprobará que depende del salto, del paso o vara que use para medir.

Use la tabla adjunta y comprobará que la longitud de la curva depende de la vara de medir que se use, depende de la escala. Mientras menor sea la vara de medir, más larga es la distancia. La naturaleza, como muestran las fotos de la exposición, dibuja curvas, no rectas. Por eso la longitud de las líneas de costa, de los ríos, de las veredas que atraviesan los montes, de las fronteras naturales depende de la escala a la que la mida. Por eso, cada vez que se cartografía una costa a escala mayor, la línea de costa "crece". En la exposición, el visitante dispone de un programa de ordenador que "mide" las formas sinuosas que dibuja la marisma.

| U | N | L = (NxU) |
|------|---|-----------|
| 1 cm | | |
| 2 cm | | |
| 4 cm | | |

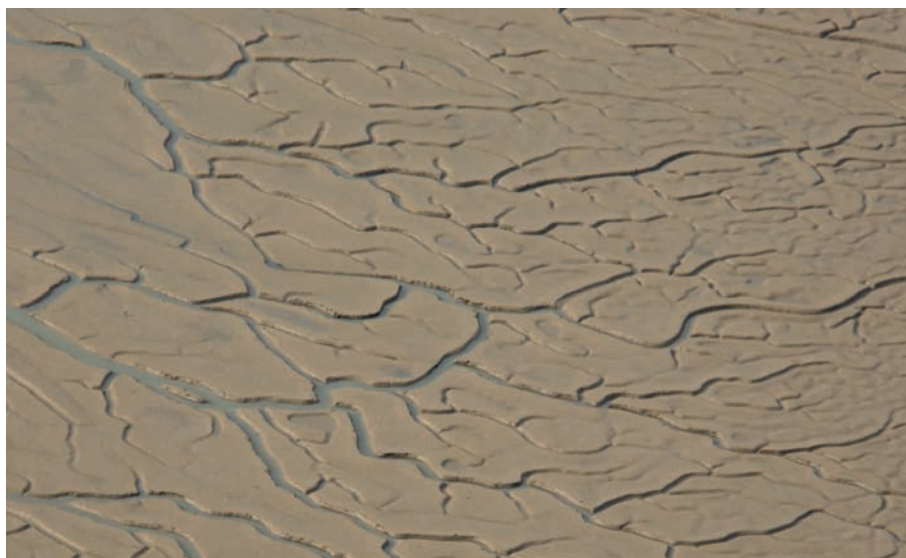
dimensión fractal



Una de las ventajas de la geometría fractal es que podemos medir las estructuras naturales, el primer paso para empezar a comprenderlas. Podemos comparar la rugosidad de las líneas de costa, o la frondosidad de los árboles o la red de caños de una marisma, algo de lo que hace unos años sólo podíamos hablar cualitativamente. Las estructuras fractales se miden por su dimensión fractal, que es siempre mayor que la dimensión topológica. Por ejemplo, las líneas tienen dimensión 1 pero la curva de Koch tiene una dimensión algo mayor, exactamente La dimensión fractal de la curva de Koch es $d = \ln 4 / \ln 3 = 1,26186....$

¿Cómo se mide en las fractales naturales? De una forma semejante a la que hemos usado para la curva anterior. Solo tenemos que representar los valores de la escala y de la medida en escala logarítmica y la pendiente de la recta es el valor de la dimensión fractal cambiada de signo.

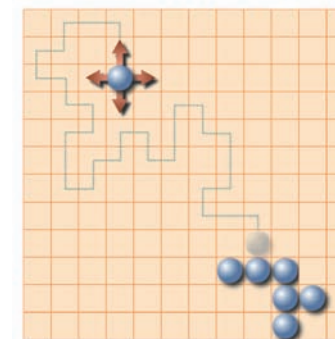
También podemos medir la superficie de una estructura usando como unidad de medida un cuadrado de tamaño conocido. El número de cuadrados que necesitamos para recubrir la estructura será mayor mientras menor sea el tamaño del cuadrado. Cuando dibujamos esos valores con escala logarítmica obtenemos la dimensión fractal del objeto.



Habrás notado que el método se basa en medir las estructuras a distintas escalas. Todos sabemos que la superficie de un círculo escala con el radio al cuadrado, es decir una potencia de dos. El volumen de la esfera escala con el cubo del radio, es decir una potencia de tres, y la longitud de una recta con una potencia de uno. Así, todas las formas euclidianas escalan con un exponente entero.

Las estructuras fractales se caracterizan por escalar con un exponente fraccionario (fractional en inglés) de donde proviene el nombre que les dio Benoit Mandelbrot. Desde que existe esta geometría, ya no vemos un abeto como un cono, ni a un naranjo como una esfera, ni a una montaña como una pirámide, formas cuyas superficies escalan con 2, sino como estructuras que escalan con una dimensión fractal 2 y algo. Mientras más frondoso sea el árbol mayor su dimensión fractal y mientras más abierto menor su dimensión fractal.

formación de patrones fractales

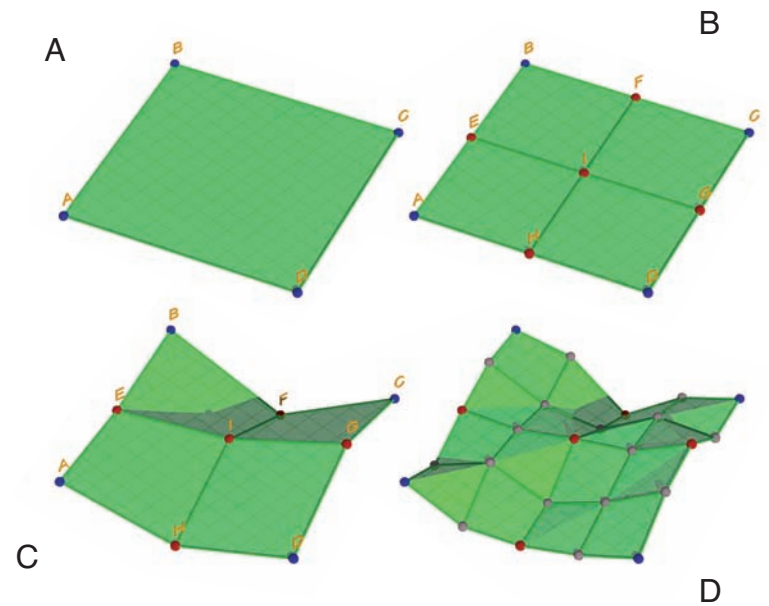


Las estructuras dendríticas, arborescentes, como la que se muestra en la fotografía de la página anterior es ubicua en la naturaleza, y aparece tanto en el mundo mineral como el mundo de lo vivo. Los ejemplos van desde las que la erosión del agua crea en los barros y arenas de la marisma o las dendritas minerales, hasta nuestro propio sistema circulatorio o incluso a nuestra red de amigos.

Hoy conocemos muchas formas de crear estructuras dendríticas usando computadores. Una de ellas es la conocida como agregación limitada por difusión. El procedimiento es sencillo. Se coloca una partícula/semilla en alguna posición fija de una cuadrícula. Lejos de ella, se lanza otra partícula que se mueve aleatoriamente, es decir que en cada paso, tiene la misma probabilidad de ir hacia arriba, hacia abajo, hacia la izquierda o hacia la derecha, lo que se llama un paso de borracho. Se sigue moviendo así hasta que toca la partícula semilla en una posición en la que queda fijada para siempre. El procedimiento se repite con decenas de miles o millones de partículas. El resultado son las bellas estructuras fractales cuya formación estamos empezando a comprender.



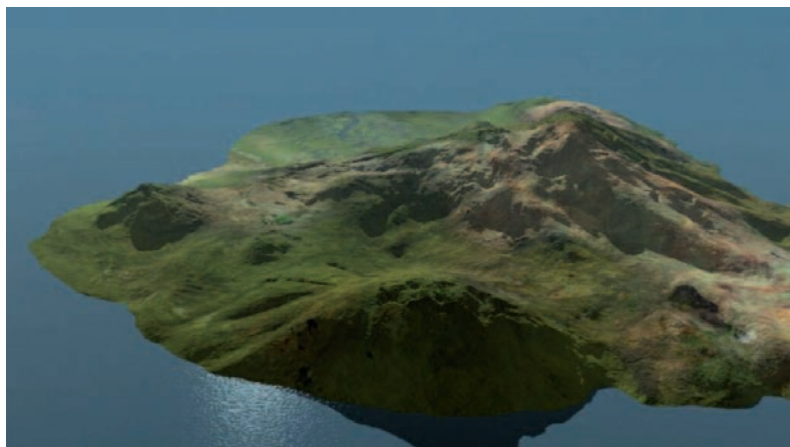
La geometría de la naturaleza



La geometría fractal es la geometría de la naturaleza. Ambas están basadas en la repetición constante de procesos simples. Tanto es así que mediante algoritmos sencillos basados en la repetición de procesos muy simples se consigue crear paisajes "naturales". En la exposición se puede disfrutar de una video-animación realizada por Kandor Graphics en la que se explica cómo se generan esos paisajes fractales. Por ejemplo, el paisaje de la animación que se muestra en la exposición se realiza por un procedimiento muy simple que consiste en arrugar una hoja de papel siguiendo una y otra vez los sencillos pasos siguientes:

a) Partimos de una superficie cuadrada plana ABCD.

b) La dividimos en cuatro cuadraditos, con lo que creamos los cuatro puntos adicionales EFGH y el del centro I.



c) Pues bien, ahora no hacemos otra cosa que elegir un valor al azar entre 0 y 1 para la altura de cada uno de esos puntos. De esta forma conseguimos que la superficie se arrugue en este primer nivel.

d) Ahora repetimos la misma operación de división del primer cuadrado con cada uno de los cuatro cuadraditos y volvemos a darle a cada nuevo punto una altura aleatoria entre 0 y 1. Este mismo procedimiento lo repetimos otra vez con cada uno de los cuadraditos nuevos, y así sucesivamente, es decir iterativamente. El resultado después de muchas iteraciones es una hoja arrugada que cuando se le pone una textura queda algo tan natural como la fotografía de arriba.

Desde que los ordenadores están disponibles para los departamentos de efectos especiales, muchos de los paisajes de las películas están creados con algoritmos recursivos similares al que hemos usado nosotros, que generan superficies fractales, y por eso de apariencia natural. Entre las películas pioneras está la secuencia del Proyecto Génesis en Star Trek 2 y el corto Andre & Wally B. producido por Lucasfilms. Hoy en día los fractales están bien integrados en las herramientas de software para crear texturas o generar complejos paisajes dinámicos, por ejemplo, el mar en muchas de las secuencias de la película Titanic y todas las de Poseidon, los paisajes de "La Máquina del tiempo", la inundación de Antz, etc.

creando estructuras fractales



Más allá de las simulaciones de ordenador, las estructuras fractales pueden crearse en la realidad. Una de las formas de hacerlo es empujando un líquido viscoso, por ejemplo un aceite o parafina con otro líquido menos viscoso, como por ejemplo el aire. La interfase entre dos líquidos de diferente viscosidad se arruga cuando el menos viscoso (en este caso el aire) empuja al más viscoso. El proceso se llama dendrificación viscosa, porque con él se crean estructuras ramificadas de gran belleza a base de dedos que se van bifurcando continuamente formando árboles o dendritas fractales. Estas estructuras están ligadas al origen de las dendritas minerales, de los dedos salinos en la interfase entre el agua salada del mar y la dulce de la tierra, a la formación de los rayos, a las suturas de ammonites, etc.



belleza y fractalidad



En las formas creadas por el hombre, así como en algunos patrones naturales, existe una relación áurea, un número de oro, que algunos consideran el canon estético de la geometría euclidiana.

Las dendritas minerales, como la de la pieza excepcional que muestra la foto y que puede ver en la exposición, aparecen dibujadas en las rocas de todo tipo en muchos lugares de la tierra. A pesar de su aspecto "biológico" son óxidos e hidróxidos de manganeso y de hierro de origen puramente inorgánico. En la naturaleza, podemos encontrar dendritas minerales de todas las dimensiones fractales posibles. Sin embargo, casi todas las dendritas que encontrará en las tiendas que venden minerales y rocas, tienen una dimensión fractal dentro de una gama muy estrecha, lo que sugiere la existencia de un canon de belleza fractal. ¿Existe una relación entre la dimensión fractal de una estructura y la valoración estética que tenemos de ella? ¿Existe también un número áureo, una dimensión de oro en la geometría fractal?

No lo sabemos. Usted puede ayudarnos a responder a esa pregunta participando en el experimento que se realiza en la exposición o a través de www.armoniafractal.com.

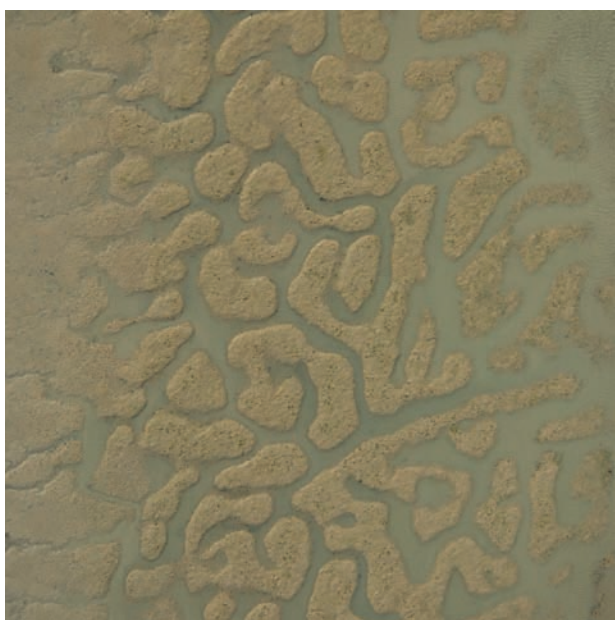


Las fuerzas geológicas han dibujado las formas de este planeta desde sus inicios hace cuatro mil quinientos millones de años. Desde hace unos tres mil millones de años, la vida contribuye a pintar el paisaje y lo hace con los mismos pinceles de la geología, dibujando formas sinuosas, rugosas y frondosas.

Cuando llega el hombre, esa tendencia de millones de años se rompe. A pesar de que los primeros hombres vieron muy pocos objetos sólidos, euclidianos, como la luna y el sol, la línea del horizonte en las llanuras o en el mar, o el iris de sus propios ojos, el hombre decide instar con distinto estilo los infinitos cuadros que encierra el paisaje. Debido a la necesidad de medir, crea la geometría euclidiana, fría, trazada a tiralíneas que se contraponen a la cálida geometría fractal de la curva y de la bifurcación, dibujada sensualmente por la naturaleza.

Es una lucha de poder a poder, entre dos formas de trazos distintas. Tanto, que cuando el hombre no se esfuerza por mantener el orden euclidiano, la naturaleza lo rompe con su acoso permanente, iterativo, recursivo. Un ejemplo es el lavadero de mineral de las Minas de Tharsis, en Corrales, Huelva [página 54], que abandonado tras el cierre de la mina en 1990, la naturaleza vuelve a imponer su geometría, esta vez pintando una hermosa acuarela mineral. O en la salina tradicional abandonada [página 98], en la que tras la rotura del muro perimetral, el agua modela una red dendrítica que rompe la estructura artificial de los caballones alineados que una vez retuvieran la sal.





l a s f o t o g r a f í a s



Ojo de Martinazo, Reserva Biológica de Doñana, Huelva

La imagen del oasis habita en nuestro imaginario desde tiempos inmemoriales. Es el lugar al que llegamos tras largas jornadas de penuria y del que partiremos mañana para seguir nuestro viaje, porque no otra cosa es la vida que este negocio del estar siempre de camino. De pronto uno quisiera haber llegado por esa senda y estar ahí, a la orilla de ese ojo de agua con su pupila verde, y alrededor la sombra, el refugio, el breve paraíso de nuestro esforzado caminar. Y ser eternos al menos por un día.

Luis Landero

Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

Cómo definir la belleza que derrocha el orden de la complejidad, la estructura de la irregularidad, la simplicidad de la sofisticación. Todo aquí representado. Contrarios absolutos recogidos de forma infinita. Es como verme por dentro. Saborear mi paisaje vital y palpitante de barro y agua. Acogedores reencuentros con volúmenes fértiles y sugestivos.

Odile Rodríguez de la Fuente





Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

Un ser descomunal yace durmiente, mientras su piel queda a merced del sol y los parásitos. Camuflado bajo ella late, con ritmos desconocidos, un corazón compartido, un músculo indómito que cobra vida con el fluido elemental que acude regularmente a revivirlo. ¿Quién percibirá sus latidos dentro de un instante, en diez millones de años?

José Benito Ruiz Limiñana

Tal como arriba, tal como abajo, dicen los textos ancianos; el cielo en la tierra, la tierra como el único cielo que nos hace falta; microbios en una muestra, agua y algas bailando con las arenas; todos encuentran su forma, y son formados por otras formas; una estrella en el barro, un hombre saltando por las nubes.

Paddy Woodworth





Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva

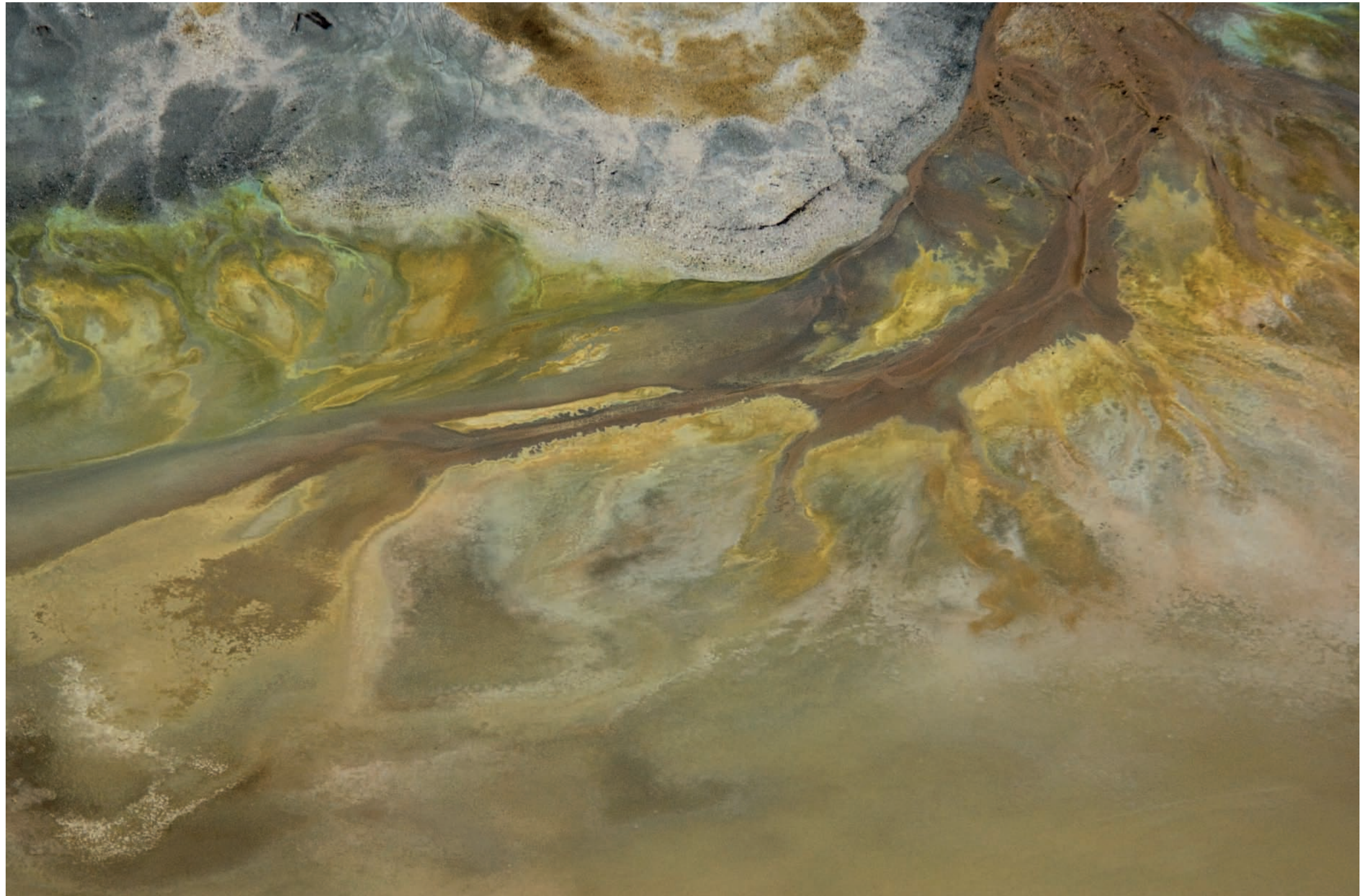
El medio es el mensaje. La media de edad no es la Edad Media. Un árbol holográfico allí abajo, como huellas de glaciaciones. Sombra en marismas de sol, adherida con pegamento Imedio, el que fabrican en Calzada de Calatrava, el pueblo de Pedro Almodóvar y de mi abuela Carmen. Isla de Enmedio, calzada descalza.

Francisco Correal

Siempre me ha resultado extraño el rechazo de cierto público por el arte moderno, como si la abstracción no formara parte de un proceso creativo inconsciente. Pienso ahora, a la vista de estas increíbles imágenes, que lo verdaderamente extraño es el empeño de algunos en reproducir única y fielmente la realidad convencional. ¿Sabe la Tierra que hace arte?

No deja de ser llamativo el parecido entre lo inmenso visto desde la altura, y lo minúsculo ampliado mil veces. La respuesta a unas mismas fuerzas a distinta escala. Ese aparente caos de los flujos al abrirse camino, en la marisma o en los tejidos corporales, es un cierto arte gestual, el "action painting" de la Naturaleza y el "fluxus" de Beuys y Vostell. El arte integrado en lo cotidiano.

Juan Varela Simó





Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva

Han aparecido manchas grises en el follaje del Árbol de la Vida. Manchas de muerte y oscuridad. Manchas grises de Hombre, el que pisa fuerte, el que todo lo envenena, lo mata, lo arranca, lo calcina. Han aparecido manchas grises en el follaje del Árbol de la Vida y sus hojas lloran. Quizás los llantos despierten al Hombre y éste entienda que morirá si el árbol cae. Quizás madure y abandone su devastadora infancia. Quizás no muera.

Diego Escarlón

Veta la Palma, Puebla del Río, Sevilla

La materia viva y la inerte como realidades inextricablemente unidas. Los procesos bióticos y abióticos como fenómenos íntimamente asociados desde hace miles de millones de años. El icono principal de los seres animados, el Árbol de la Vida, gentilmente esculpido por el agua en la superficie de la gea.

José Luis Sanz





Veta la Palma, Puebla del Río, Sevilla

El lenguaje del agua se asemeja en el arte y la naturaleza. En una acuarela, la expresión de su belleza depende de la intención del artista, la textura y composición del soporte, la carga del pincel, la intensidad del trazo... La naturaleza, fiel a las leyes que se ha marcado, dibuja aparentemente distraída un esquema que, por esencial, resulta intrínsecamente bello.

Regla Alonso Miura

Soto Grande, Almonte, Huelva

Un gran árbol transpira cada día cientos de litros de agua a la atmósfera. No hay troncos ni ramas en el bosque, sino canales disfrazados por donde corre el agua. Troncos líquidos, copas verdes, el sol arriba... ¿Cómo? ¿Que no es un árbol? ¿Y las flores? ¿Caballos, dice? ¿Es una ensoñación? ¿Será fractal la materia de los sueños de Shakespeare?

Miguel Delibes





Sancti Petri-La Barrosa, Chiclana, Cádiz

Jamás me imaginé Doñana al microscopio. Lo he sobrevolado varias veces y nunca había caído en lo que Héctor Garrido me muestra.

Da por supuesto el tema vegetal/animal y se adentra, imaginativamente, en un "trompe l'oeil" espléndido.

Ramón Masats

Caño de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz

Estoy en un lugar de mi memoria que no recuerdo. No sé quién eres tú ni quién soy yo. No sé si sufro, si gozo, si llegué al fin. Si no tengo memoria, tampoco recuerdos ni tiempo pasado. Y así, continuamente, no paro de nacer. Infinitas veces volveré a nacer. Tú, que crees saber quien eres y cada día me agitas a tu antojo, nunca más lo harás.

Erika López





Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva

Observado desde el aire, ... parece un árbol tumbado, enorme, con un tronco corto y grueso, constituido por el núcleo central de sepulturas, de donde arrancan cuatro poderosas ramas, contiguas en su nacimiento pero que después, en bifurcaciones sucesivas se extienden hasta perderse de vista, formando ... una frondosa copa en la que la vida y la muerte se confunden.

José Saramago

Marisma de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz

Una sola gota fue capaz de organizar el mundo, ya que en ella se contenía todo un cosmos. Nadie sabe quien la envió. En su lento e inevitable discurrir modeló todo lo conocido, luchando sin descanso contra el caos. Su esfuerzo tuvo la recompensa de la vida, que surgió de la vorágine de la entropía una y otra vez.

La marisma piensa permanentemente, con potenciales de acción diluidos entre las neuronas vegetales, que no quiere reconocer las regularidades. Sus glomérulos, repletos de seres invisibles, se empeñan en filtrar los malos diseños de miles de demiurgos que los rodean.

Juan Carlos Rubio





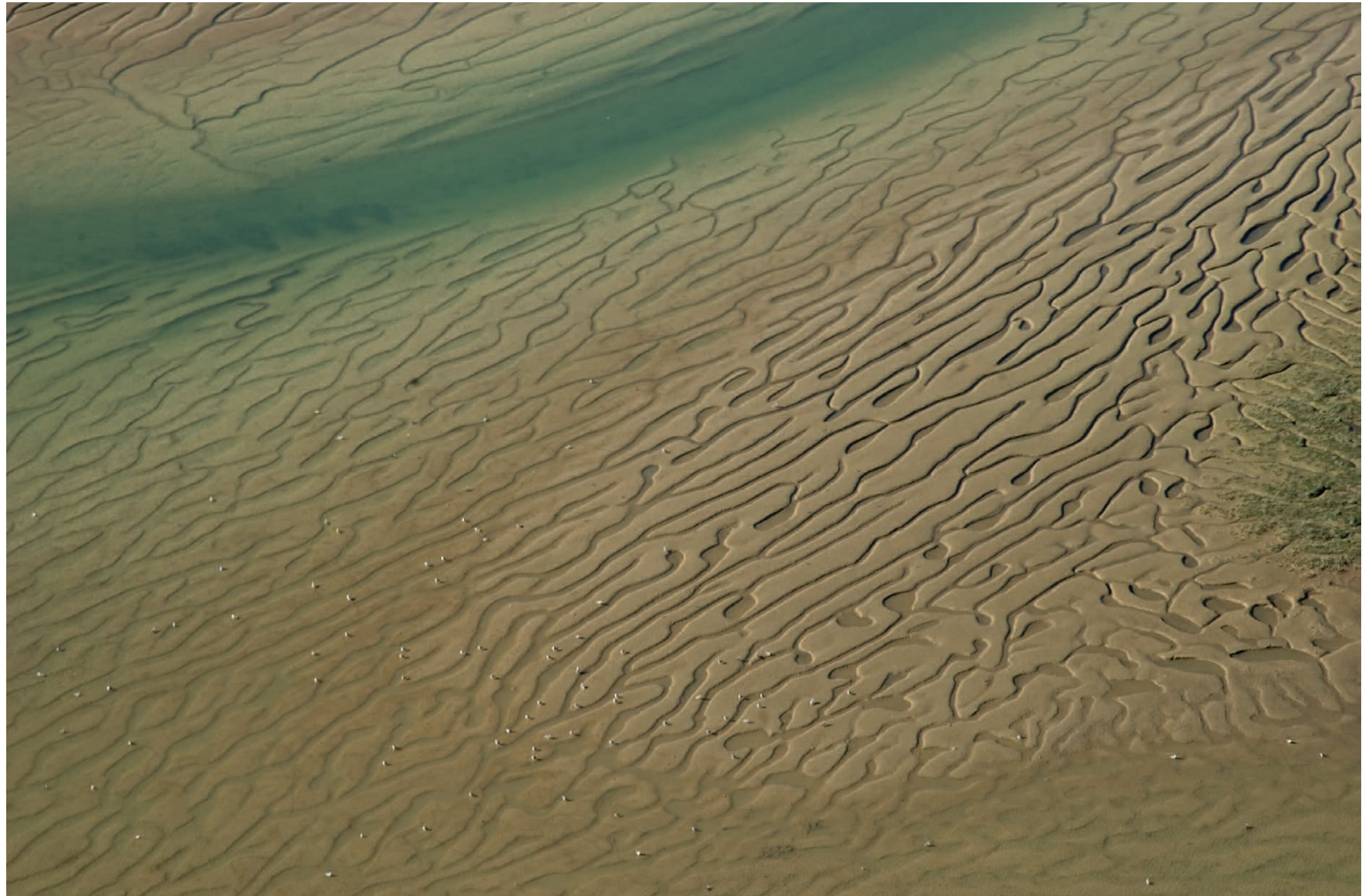
Caño de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz

Parecen las circunvoluciones de un cerebro. En la evolución de los mamíferos, el cerebro tuvo que plegarse para que pudiera aumentar la superficie sin que creciera exageradamente el volumen. El cerebro es un globo desinflado. La arruga es bella dentro de nuestras cabezas, pero nadie las ve.

Juan Luis Arsuaga

Y tras haberla sometido, Hércules fecundó sus huevos, y por las aguas se esparcieron criaturas hasta entonces nunca vistas. Y al son de sus cantos, fundieron un trono para su nuevo Rey, y trazaron en la arcilla rasgos quebrados preñados de hijas. Eran las ideas, que venían para derrocar a los sueños.
¡Rea ha muerto, viva el Rey!

Alberto Donaire





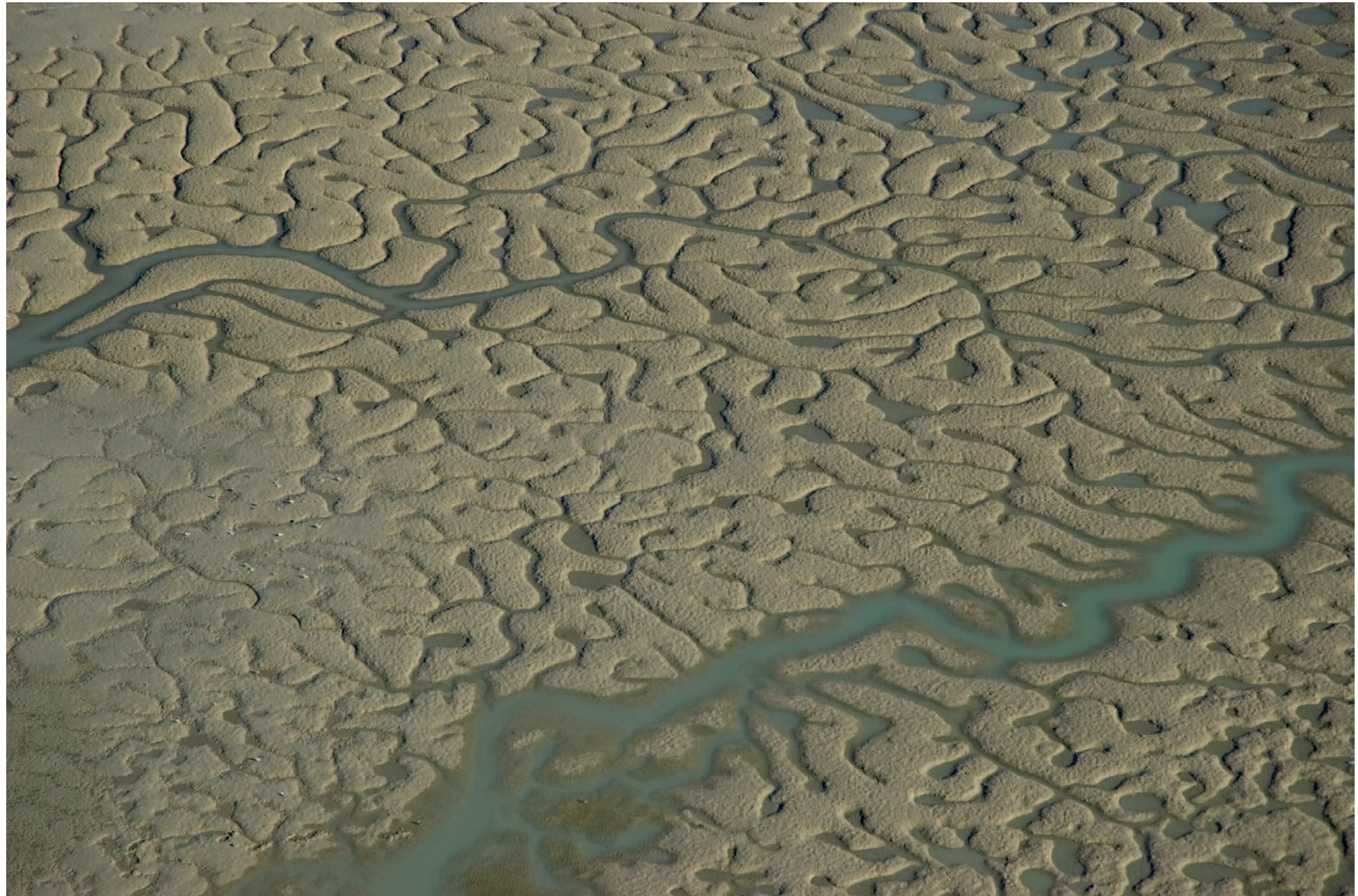
Marismas de San Fernando, Cádiz

Garabatos de gigante, laberinto de plastilina, serpientes de agua, puzzle de esperanza... Los cuentos existen.

Francisco Márquez

A las plantas, a los animales y a los humanos nos recorre por dentro al menos un doble río. Para que la sangre llegue a todas partes, las venas se hacen cuenca, cauce y caudal. Es más, para que el chisporroteo de las ideas, los recuerdos y las emociones nos concedan la condición humana, necesitamos el enramado río de las neuronas, que son puro plagio de la voluptuosidad que comparten las estructuras fractales que el agua inicia.

Joaquín Araújo





Marismas del Río Carreras. Isla Cristina, Huelva

Ver las cosas desde lejos hace que el aire de la vida corra por delante y limpie de hojarasca el cuadro. Los perfiles se amontonan y componen lo que algunos llaman objetividad. Verlas desde arriba facilita la comparación de las dimensiones externas y nos distancia de los latidos interiores, que no se ven, se intuyen. Desde abajo se enfatiza el cuerpo, se achica el alma. A ras, el ser humano se mide con las imágenes. Rozarlas con los ojos es acceder a una porción corta, aunque, a veces, en una mirada cabe un universo. La pregunta viene sola: ¿cuál sería la distancia ideal? La respuesta sigue el discurso: hacer que lo que vemos lo vean otros porque, si cualquiera de las visiones propuestas, o por proponer, no es compartida, no existe.

Manuel Garrido Palacios

Marismas del Río Tinto, Huelva

Está ahí, con su llamativa grafía de lodos y almajos. Con sus gigantescos pictogramas que se asoman al cielo. Pero, ¿quién, a ras de suelo, advierte las claves de este idioma cobrizo?
¿Es la Tierra quien habla?
¿Es la Tierra quien escribe?
¿Quién entiende su lenguaje?
¿Quién atiende su mensaje?

José María Montero





Sancti Petri-La Barrosa, Chiclana, Cádiz

Una vista inédita, ortogonal, de una formación paisajística fractal. Manchas de colores continentales o insulares. Sangre seca purpúrea, sobre amarillos limón y tenues grises, delimitados, o no, por un verde acuoso inmóvil y eutrofiado. Una premonición que sólo tiene el significado que el observador quiera darle: la cabeza de un pez exangüe, contaminado por algún vertido, que yace de perfil como los personajes muertos en las medallas.

Joaquín Fernández

Indescriptible a nuestras retinas se revelan y rebelan los jeroglíficos que inventa la marisma ahogada. Caminos sinuosos de clorofila, agua y sal que el laberinto mágico muestra al ojo alado en motores de queroseno. Un viaje al conocimiento desde el aire, al ábaco que cuenta los picos, patas y alas que retozan en limos y láminas. Dónde buscar la entrada y la salida en este entramado pasillo verde. Dónde se inicia y dónde acaba la escritura centenaria, la que el vuelo hurga en tributo a la ciencia.

Ignoran los flamencos de pluma que su trasiego no puntúa en romería al Rocío pero sí en el baile que exhiben entre lucios, y desconocen también las gallinetas y los ánsares que sus continuos despegues y aterrizajes emborronan los números en lo más alto. Doñana seca y Doñana ahogada, asilo siempre de vacas al pasto, de equinos asalvajados y de marismeros curtidos. Mirando al sur, más al sur, el río va y viene, toma y devuelve, y siempre es el agua, al final, la que modela, la que escribe para el cielo y para la tierra.

Mario Sáenz de Buruaga





Marisma de San Fernando, Cádiz

Sonidos líquidos, sonoros
Rumores, olvidos marismeños
Fluyen silenciosamente
La savia de la Vida.

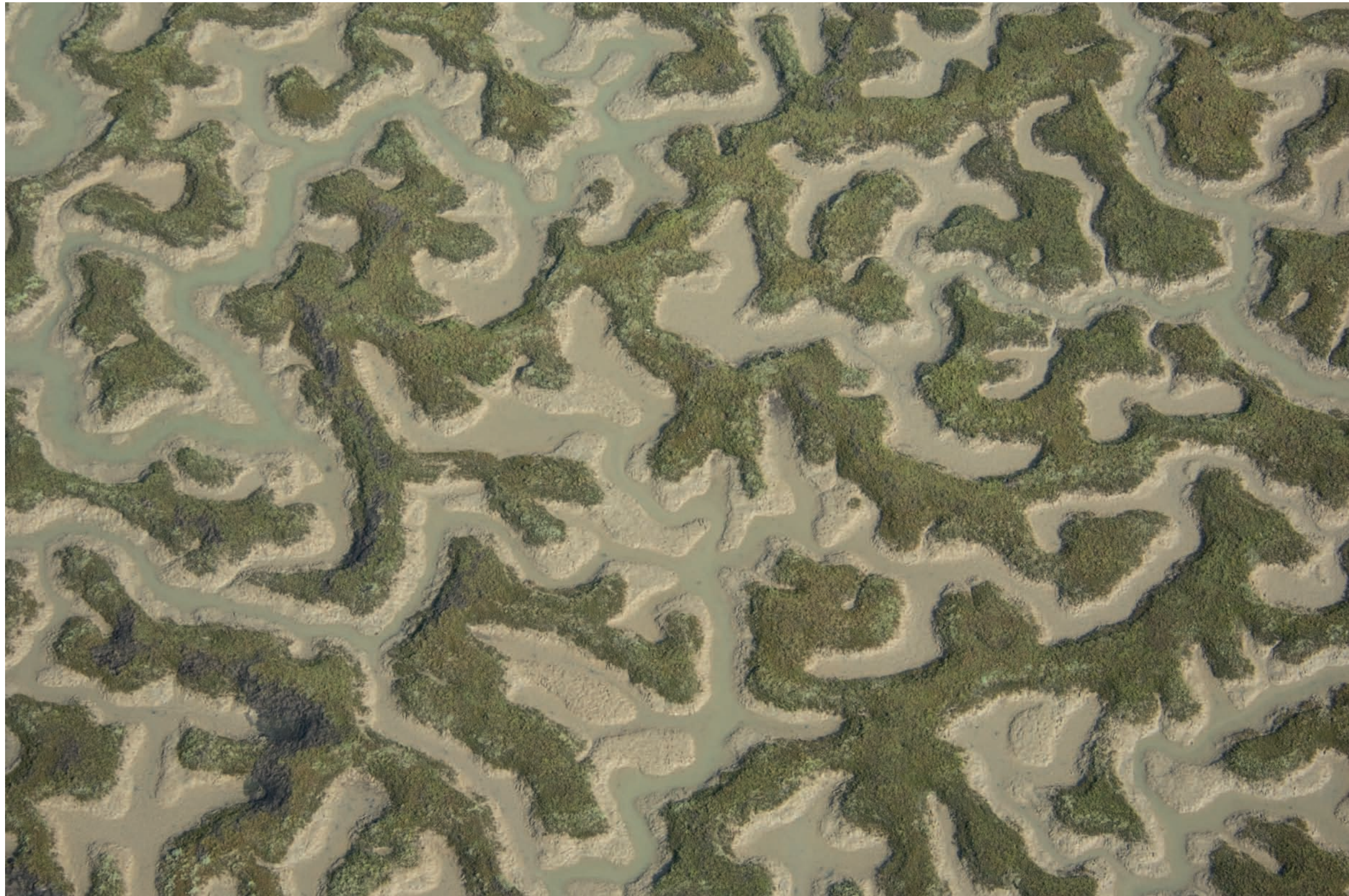
Armonía caprichosa del agua
Orden, desorden, complejidad
Abren cauces fractales
Hacia el mar, la Libertad.

Ezequiel Martínez

Mi retina ha sido capaz de convencer a la razón para que acepte como real lo que podría no parecerlo. Porque cuesta admitir que unas perlas moteadas hayan quedado engarzadas en una cola de ballena hecha de marisma; en unos pulmones regados de sabia dulce-salina por los que respira un río, o más bien expira, al encharcar y expandirse por abiertos de arena. Unas perlas que, en la cercanía, pudieran ser plumas vivas, pero que la distancia transforma en brillante nácar sombreado... Lo bueno es que esta imagen fue un día verdad física, y lo mejor, el también auténtico paisaje emocional que ha provocado.

Josefina Mestre





Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

Nuestra pasión es la misma en Creta, en los surcos de una montaña, en las hebras de las nubes, en las formas del limo; en la orografía blanda de los copos que caen sobre nuestros corazones repetidos. El mito se cumple en todas las escalas. En el centro aguarda siempre un Minotauro. Tú avanzas idéntico por los espacios continuos. ¿Estás ahí? Soy Ariadna; tú, Teseo.

Alejandro Víctor García

Marismas del Río Piedras, Cartaya, Huelva

Las mareas en su discurrir diario perfilan y dibujan los limos de las zonas estuarias creando pequeñas pozas y canales de drenaje, que permiten el desarrollo de una gran cantidad de invertebrados y que sirven de alimento a multitud de aves principalmente durante el invierno y los pasos migratorios.

Francisco Hortas





Salinas de San Fernando, Cádiz

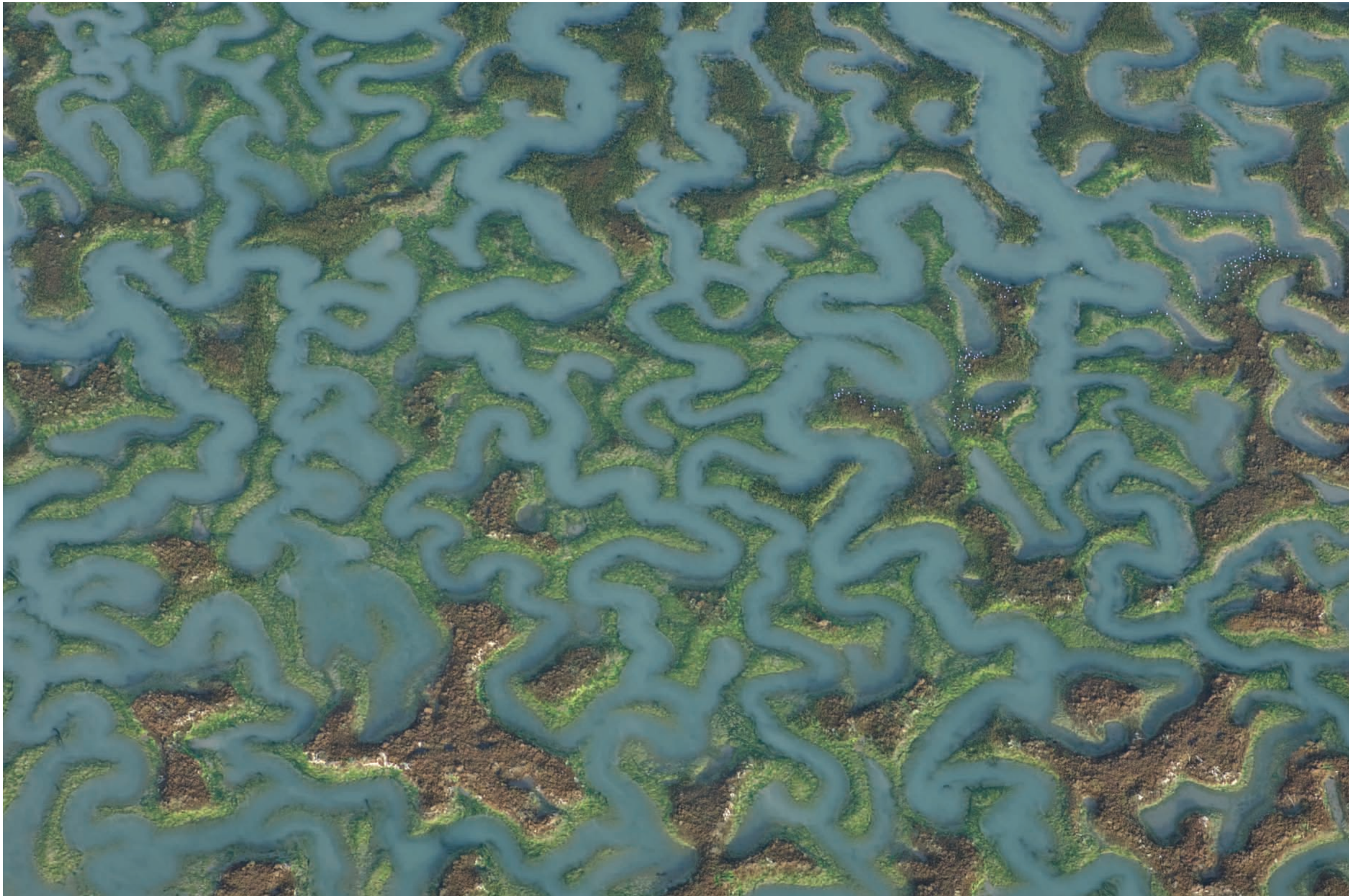
Una red en cada nodo,
una espiral de espirales.
Las infinitesimales
partes que abarcan el todo.
En cada puntual recodo
del tiempo, todos los tiempos:
el agua, el rozamiento
y a su escala las orillas...
Y el lunar en tu mejilla
a escala del firmamento.

Jorge Drexler

Cuatro líneas paralelas que dibujaron los hombres de la salinas. Cuatro caballones para contener las aguas que se han de evaporar. Un descuido, un abandono y la marea rompe la estructura impuesta, reconquistando un terreno donde el agua -cargada de vida- fluye otra vez celebrando la geometría natural.

Juan Manuel García Ruíz





Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

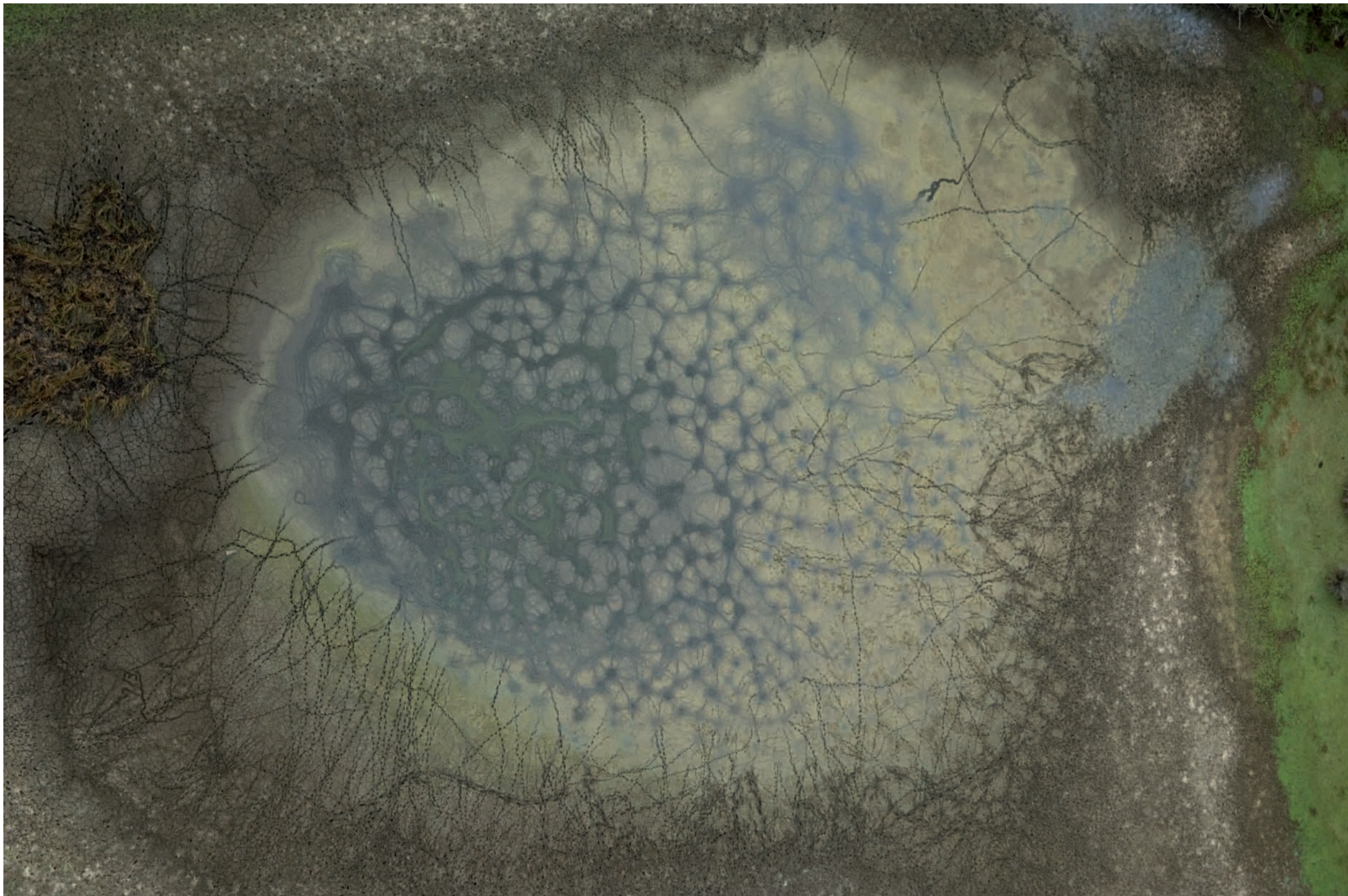
Agua clara en un estuche de cristal.
Un sueño donde el agua discurre por su
piel y aflora por sus poros.
Una marisma o una diosa, tan enigmá-
tica como cercana.
Su presencia y sus secretos me recuer-
dan al mar que en mi tierra alimentaba
las ilusiones.
Una marisma capaz engendrar el olor y
el sonido del origen de la vida.

Cipriano Marín

Now, what scale are we looking at here? Are these capillary-like trickles, or sinuous rivers? If geologists forget to lay down their hammers in fractal nature, we are adrift from all measures. Water is particularly indifferent to distances, carving the same structures in sand and rock at many magnifications, just as a bathtub plughole mimics the eye of a hurricane.

Phill Ball





Laguna del Sopotón. Parque Nacional de Doñana, Huelva

En Altamira, nuestros primitivos ancestros immortalizaban a sus presas.
En Doñana, cuando la marisma se seca y agua y alimento escasean, la fauna, en su afán por sobrevivir, representa cada año con las huellas de sus movimientos la belleza de la lucha por la vida. Arte irracional y efímero, robado para la inmortalidad por la cámara del fotógrafo.

Fernando Hiraldo

Marismas del Río Piedras, Cartaya, Huelva

Recorro la nada mientras creo nuevos surcos
que no serán ya inertes.
Me pierdo. Me encuentro en un trazo cer-
cano y me extiendo para fundirme
conmigo. No importa si mi terreno es in-
menso o diminuto. Crezco.
Pujo. Intento. Algunos se maravillan ante mí.
Otros, se esfuerzan por destrozarme.
Aún así, no me detengo. Soy la vida.

Barbara Din



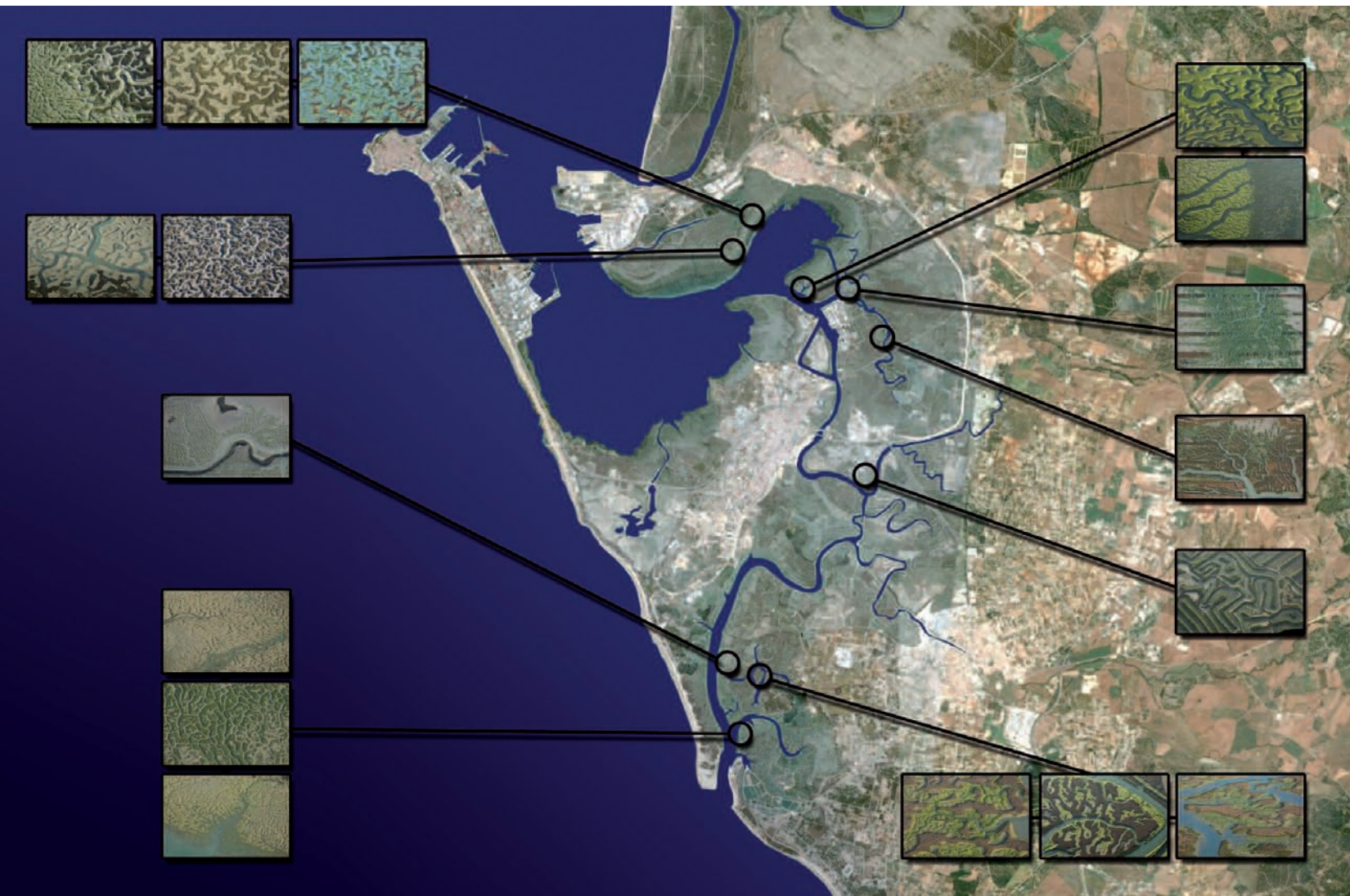


interpretación de las fotografías

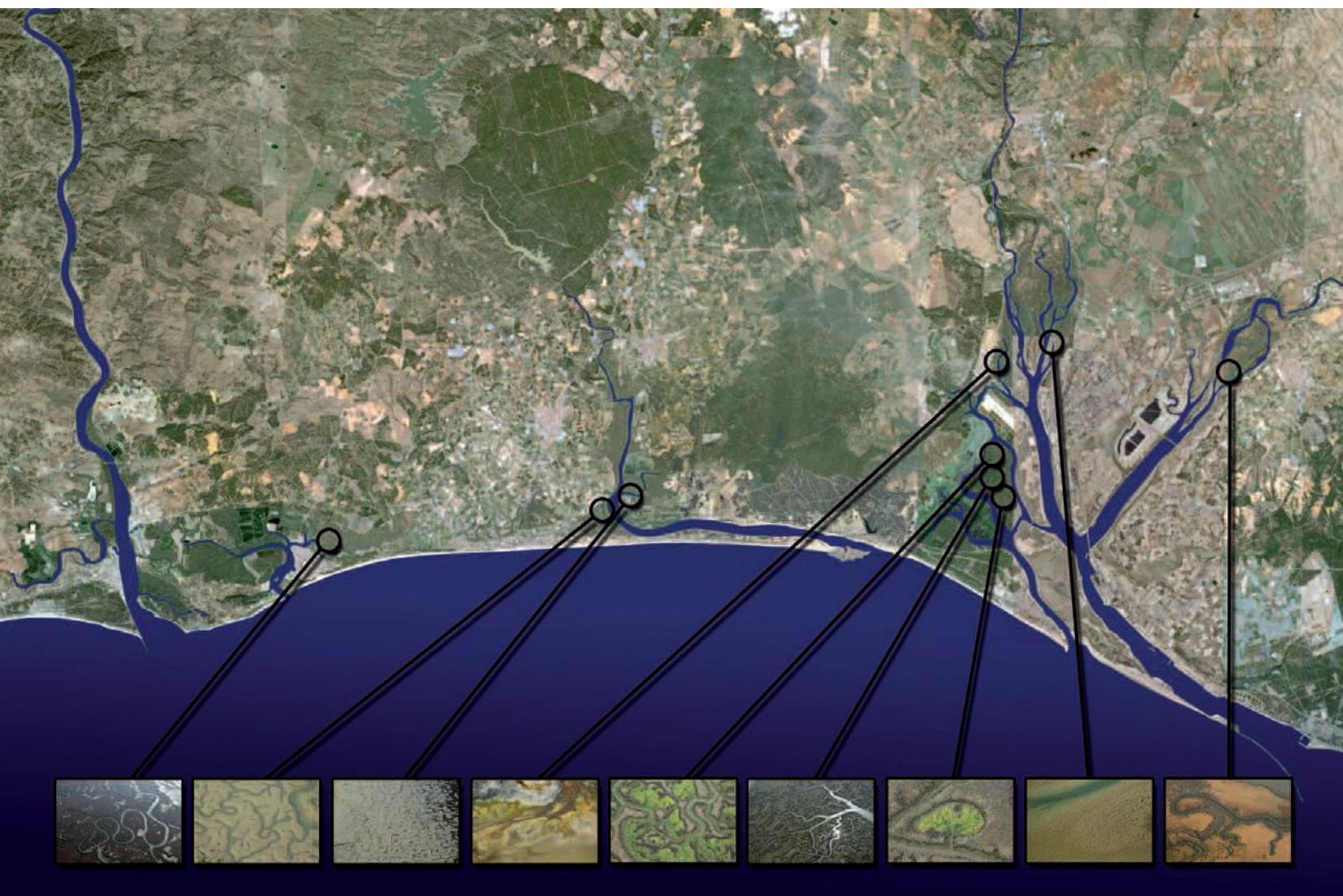
costa de Doñana



bahía de Cádiz



litoral occidental de Huelva



doñana y las marismas

El extenso arco de tierras bajas que bordea el mar desde el río Guadiana hasta la Bahía de Cádiz reúne el más importante conjunto de marismas de la Península Ibérica -continuado en el Algarve portugués-. En el centro de ellas, reinando sobre todas las demás por su senectud, extensión e influencia, se encuentra Doñana. Estrictamente no existe la marisma de Doñana, ya que Doñana es el nombre que recibió en el siglo XVI una parte del Bosque de Las Rocinas. Este Bosque de Doña Ana no incluía más que una estrecha franja de la ribera de la marisma. Pero el nuevo topónimo creció con tal fuerza que fue tomando posesión de los nombres de las fincas colindantes, que se fueron diluyendo dentro del creciente conjunto de aquel nombre femenino. Tomó posesión del bosque, luego de la comarca e incluso saltó al otro lado del Guadalquivir. Doñana fagocitó el conjunto de las marismas del Guadalquivir y avanzó hacia el norte, río arriba, casi hasta la ciudad de Sevilla. Por poniente se extendió a través de Arenas Gordas y llegó a las faldas de la Ría del Odiel. Hacia levante absorbió extensos territorios rivereños de Cádiz y Sevilla. Y aún hay una Doñana mayor, si el valor que se tiene en cuenta es la influencia que ejerce sobre las marismas colindantes, las de Cádiz y las de Huelva. Pero sobre todo, Doñana ya no es un territorio. Es un símbolo, una guía, un ideal.



Ojo de Martinazo, Reserva Biológica de Doñana, Huelva

37° 01' 12.48" N - 6° 26' 11.45" W
19 de mayo de 2008

Ojo es el nombre vernáculo con el que se denomina en Doñana a una surgencia natural de agua dulce permanente alimentada por las capas profundas del freático que aflora en la marisma. El de la fotografía forma parte de un grupo de ojos situados en la vera de Martinazo. En el punto de surgencia más profundo hay una pequeña formación de bayunco (*Scirpus littoralis*) que desde el aire adquiere la apariencia de un iris y en torno al ojo se desarrolla un abundante juncal (*Juncus acutus*) atravesado por caminos trazados por el constante trasiego de la fauna.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana. Parque Nacional.

36° 30' 54.01" N - 6° 12' 58.39" W
24 de noviembre de 2005

Isla formada por depósitos fluvio-marinos de naturaleza limo-arenosa que dan origen a marismas de influencia mareal. La fotografía muestra depósitos principalmente limosos en fase de secado modelados por una red hidrológica dendrítica donde las vetas se encuentran tapizadas por almajo.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz



Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

36° 30' 32.35" N - 6° 12' 27.77" W
24 de noviembre de 2005

Isla asociada al caño del mismo nombre formada por depósitos fluvio-marinos de naturaleza limo-arenosa que dan origen a marismas de influencia mareal. La fotografía muestra depósitos de limos y arenas en fase de inundación, modelados por una red hidrológica meandriforme en la que se diferencia un entramado principal y otro secundario.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

36° 30' 42.67" N - 6° 13' 06.34" W
24 de noviembre de 2005

Isla formada por depósitos fluvio-marinos de naturaleza limo-arenosa que dan origen a marismas de influencia mareal. La fotografía muestra depósitos de limo en fase reciente de secado modelados por una red hidrológica dendrítica cuyas vetas han sido colonizadas por algas verdes.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz





Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva

37° 14' 26.33" N - 6° 59' 15.79" W
19 de diciembre de 2005

Isla formada por un proceso sedimentario en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel y por la fuerza de las mareas. La diversificación de la red hidrográfica define una morfología dendrítica en torno a la que se distribuyen las formaciones vegetales tal y como muestra la fotografía. Las zonas intermareales han sido cubiertas por algas verdes.

Estatus de protección: Reserva Natural Isla de Enmedio
Paraje Natural Marismas del Odiel.



37° 13' 55.327" N - 6° 58' 57.48" W
19 de diciembre de 2005

Isla formada por un proceso sedimentario en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel y por la fuerza de las mareas. La imagen ofrece un detalle de la diversificación de la red de drenaje respecto a la organización circundante basada en canales principales, que ofrece una apariencia sugerente. El color verde en las zonas intermareales es producido por algas enteromorfas.

Estatus de protección: Reserva Natural Isla de Enmedio.
Paraje Natural Marismas del Odiel.



Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva



Lavadero de Mineral en Tharsis, Aljaraque, Huelva

37° 16' 21.75" N - 6° 59' 03.728" W
19 de diciembre de 2005

Marisma adyacente al antiguo lavadero de mineral de las Minas de Tharsis, cerradas desde principios de la década de 1990. Restos de azufre, cobre y otros minerales arrastrados y depositados han ido tiñendo durante los últimos cien años esta marisma ofreciendo la belleza cromática que muestra la fotografía, cuyos colores y distribución sugieren la apariencia de una paleta de pintor al óleo.

Estatus de protección: Paraje Natural Marismas del Odiel.



36° 56' 54.91" N - 6° 14' 36.89" W
12 de junio de 2008.

Desagüe reciente de una balsa de cultivo acuícola de la finca Veta la Palma dedicada a acuicultura extensiva de peces de estuario. La dinámica de flujo hacia un único punto de desagüe, la salinidad y composición diferencial del agua sobre el terreno seco dibuja la forma arborescente que aparece en la fotografía.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana.
Parque Natural de Doñana.



Veta la Palma, Puebla del Río, Sevilla





Veta la Palma, Puebla del Río, Sevilla

36° 57' 39.74" N - 6° 13' 25.15" W
18 de septiembre de 2008

Desagüe de una balsa de cultivo acuícola-marino de la finca Veta la Palma dedicada a acuicultura extensiva de peces de estuario. La confluencia de las corrientes hacia un único desagüe distribuye el agua sobre la superficie limosa ofreciendo el aspecto "sináptico neuronal" que muestra la fotografía.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana.
Parque Natural de Doñana.



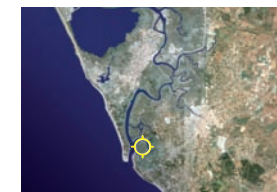
36° 23' 53.07" N - 6° 12' 03.18" W
23 de enero de 2006

Depósitos de sedimentos fluvio-marinos recorridos por una compleja red de caños secundarios sometidos a un régimen de inundación de fluctuación mareal. La fotografía muestra las primeras fases de inundación durante la pleamar con algas verdes tapizando las zonas intermareales y especies halófitas ocupando las vetas.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Sancti Petri-La Barrosa, Chiclana, Cádiz

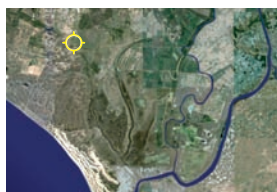
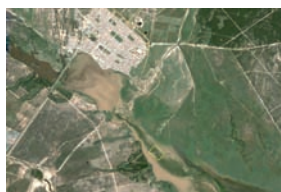


Soto Grande, Almonte, Huelva

36° 57' 39.74" N - 6° 13' 25.15" W
18 de septiembre de 2007

Desembocadura del arroyo de Soto Grande en la Madre de las Marismas del Rocío durante las primeras fases de inundación. La imagen muestra la distribución dendrítica que adquiere el arroyo mientras se abre paso entre las formaciones helófitas compuestas por castañuela (*Scirpus maritimus*), junquillo vano (*Elecharis palustris*) y candilejo (*Juncus subulatus*) con presencia salpicada de caballos pasciendo.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana.
Parque Nacional.



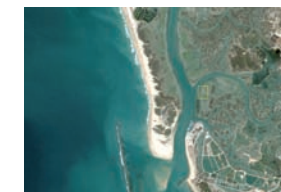
36° 24' 45.13" N - 6° 12' 43.22" W
23 de enero de 2006

Arteria de comunicación con el mar en torno a la que se desarrollan marismas formadas por depósitos principalmente arenosos modelados por una red hidrológica dendrítica somera. Estas marismas en ocasiones adoptan formas caprichosas como la que muestra la fotografía semejante al corte trasversal de un cerebro.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Caño de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz





Isla de Enmedio, Marismas del Odiel, Huelva

37° 14' 26.33" N - 6° 59' 15.79" W
8 de junio de 2004

Isla formada por un proceso sedimentario en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel y por la fuerza de las mareas. La fotografía muestra las caprichosas formas de la red de esteros, caños y canales modeladas por la dinámica sedimentaria y mareal.

Estatus de protección: Reserva Natural Isla de Enmedio. Paraje Natural Marismas del Odiel.



36° 24' 21.49" N - 6° 12' 27.80" W
24 de noviembre de 2005

Marismas formadas por depósitos de limo y arena de influencia mareal. La fotografía muestra una zona de confluencia de corrientes en el momento de bajamar. El limo aparece cubierto de algas verdes enteromorfas. Un bando de gaviotas patiamarillas (*Larus michaelis*) descansa y busca alimento.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Caño de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz



36° 24' 45.13" N - 6° 12' 43.22" W
23 de enero de 2006

Depósitos de sedimentos fluvio-marinos recorridos por una compleja red de caños secundarios sometidos a un régimen de inundación de fluctuación mareal. La fotografía muestra el momento de bajamar con las zonas intermareales colonizadas por algas verdes y las vetas tapizadas por especies halófitas de tonos ocres.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Sancti-Petri, La Barrosa, Chiclana, Cádiz

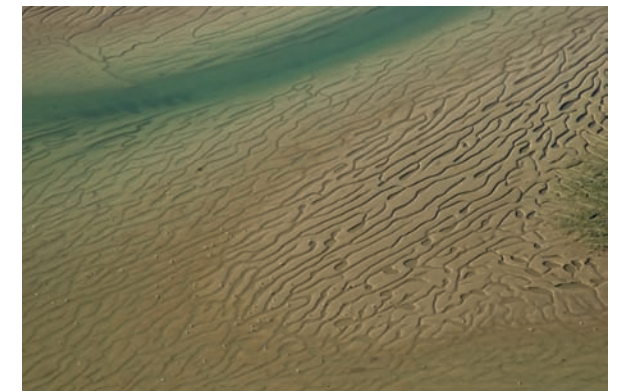
37° 17' 01.10" N - 6° 57' 57.62" W
15 de junio de 2004

Marisma sujeta a un régimen fluvio-mareal que favorece la sedimentación y la simplificación de la red de drenaje originando extensas planicies de fango sobre la que se desarrolla una red hidrográfica difuminada de tipo anastomosado. En la zona más profunda de la marisma se observa el color verde azulado que ha adquirido el agua a su paso por la cuenca minera onubense. Sobre el limo reposan gaviotas patiamarillas (*Larus michaelis*).

Estatus de protección: Reserva Natural de la Marisma del Burro. Paraje Natural Marismas del Odiel.



Marisma del Burro, Huelva





Marismas de San Fernando, Cádiz

36° 30' 08.67" N - 6° 11' 07.64" W
23 de enero de 2006

Marisma de influencia mareal formada por depósitos de limo y fango procedentes del río Guadalete. La fotografía muestra el diseño meandriforme que ofrece la red hidrológica de la marisma. Los colores oscuros son producto de la actividad de las bacterias sulfurosas que aprovechan la ausencia de oxígeno provocada por la compactación de estos sedimentos. Los verdes intensos, se deben a las algas entoromorfas que tapizan las zonas intermareales.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Caño de Sancti-Petri, Chiclana, Cádiz

36° 24' 12.50" N - 6° 12' 04.38" W
24 de noviembre de 2005

Arteria de comunicación con el mar en torno a la que se desarrollan marismas formadas por depósitos limosos modelados por una red hidrológica dendrítica somera. La fotografía muestra las formas sinuosas que adoptan estas marismas. Sobre la orilla descansan gaviotas patiamarillas (*Larus michaelis*).

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



37° 12' 32.52" N - 7° 18' 33.52" W
23 de enero de 2006

Marismas formadas en la desembocadura del río Carreras de influencia mareal. En la fotografía se observa una gran llanura litoral de transición tierra-mar tapizada por especies halófitas, que son las que confieren las tonalidades rojizas que se observan en la imagen, esculpida por una red hidrológica meandriforme.

Estatus de protección: Paraje Natural Marismas de Isla Cristina.



Marismas del Río Carreras. Isla Cristina, Huelva



37° 17' 23.94" N - 6° 51' 29.19" W
23 de enero de 2006

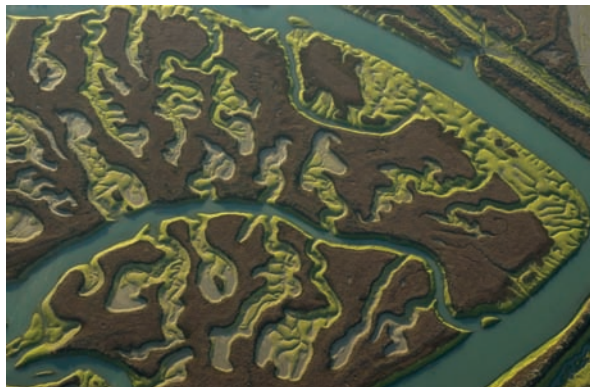
Marismas formadas por los aportes de sedimentos del río Tinto sobre la zona de influencia mareal. El elevado contenido en minerales de las aguas del río Tinto le confiere una tonalidad cromática de aspecto único en el mundo. Este río, de histórica tradición minera, es un enorme laboratorio natural donde se realizan experimentos científicos y ensayos comparativos con el planeta Marte, con el que podría guardar cierta similitud.

Estatus de protección: Paisaje Protegido Río Tinto.



Marismas del Río Tinto, Huelva





Sancti Petri-La Barrosa, Chiclana, Cádiz

36° 24' 55.78" N - 6° 12' 03.09" W
23 de enero de 2006

Depósitos de sedimentos fluvio-marinos recorridos por una compleja red de caños sometidos a un régimen de inundación de fluctuación mareal. La fotografía muestra la apariencia de hoja que pueden adoptar estos depósitos, definida por el caño principal y modelada por una sinuosa red secundaria cubierta por algas verdes enteromorfas en las zonas intermareales y por especies halófitas en las vetas.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



36° 30' 27.40" N - 6° 10' 51.19" W
23 de enero de 2006

Marismas de influencia mareal formadas por depósitos de limo y fango procedentes del río Guadalete y sometidos a un fuerte régimen mareal. La fotografía muestra el comienzo de la subida de la marea sobre una red dendrítica secundaria tapizada por algas enteromorfas (ulvales) de color verde.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



Marisma de San Fernando, Cádiz



Salinas de San Fernando, Cádiz

36° 27' 37.26" N - 6° 10' 16.45" W
23 de enero de 2006

Red de canales de las salinas tradicionales. El diseño original de las salinas, construidas manualmente, se adapta al terreno subyacente de la marisma mostrando un interesante y llamativo resultado. Los muros han sido colonizados por plantas halófitas y aún se observan restos de algunas compuertas del sistema original de gestión de aguas.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



36° 57' 39.74" N - 6° 13' 25.15" W
18 de septiembre de 2008

Desagüe de una balsa de cultivo acuícola de la finca Veta la Palma dedicada a acuicultura extensiva de peces de estuario. El drenaje de la balsa sobre el terreno ligeramente inundado, dibuja una forma arborescente cuyo ramaje sólo se intuye a través de la disposición espacial que adoptan las cigüeñas blancas (*Ciconia ciconia*) mientras buscan alimento en la corriente.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana. Parque Natural.



Veta la Palma, Puebla del Río, Sevilla



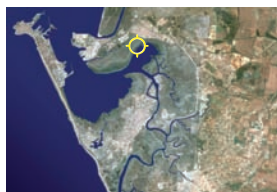


Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

36° 31' 18.27" N - 6° 12' 00.89" W
1 de junio de 2006

Isla formada por depósitos fluvio-marinos de naturaleza limo-arenosa que dan origen a marismas de influencia mareal. La fotografía muestra depósitos de limo en un área de confluencia de corrientes, donde las vetas se mantienen tapizadas por especies halófitas.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

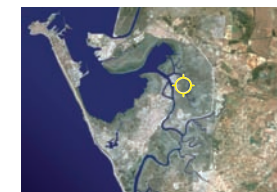


36° 29' 31.52" N - 6° 10' 01.40" W
12 de febrero de 2008

Balsa de captación de agua de una salina tradicional abandonada. La fotografía muestra la evolución de la red de drenaje que ha ido invadiendo el interior de la balsa, desde un diseño inicial, ya desdibujado, caracterizado por la estructura artificial geométrica -netamente euclidiano- hacia otro mucho más joven y de carácter dendrítico de origen natural, tendente a convertirse en una estructura fractal.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

Salinas de San Fernando, Cádiz

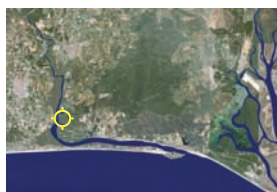


Marismas del Río Piedras, Cartaya, Huelva

37° 13' 47.59" N - 7° 09' 57.47" W
1 de junio de 2006

Marismas originadas por el aporte sedimentario del río Piedras y la dinámica fluvio-mareal de su curiosa desembocadura. La barrera costera de la Flecha del Rompido ha propiciado un flujo y reflujo de corrientes de gran potencia que ha dado lugar a unas orillas fangosas de enorme dinamismo y alta diversidad biológica.

Estatus de protección: Parque Natural de la Marisma del Río Piedras y Flecha del Rompido.

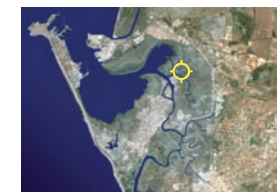


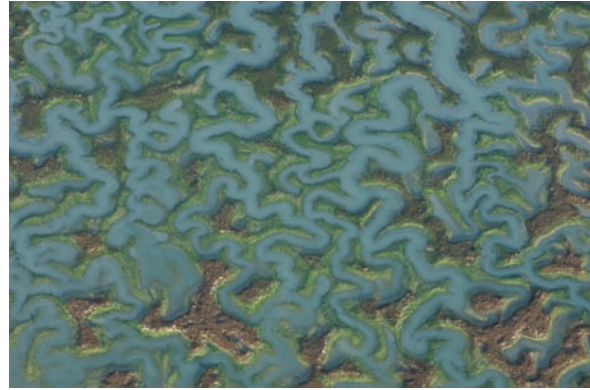
36° 30' 10.77" N - 6° 10' 37.04" W
15 de noviembre de 2007

Balsa principal de captación de agua de una salina tradicional abandonada. La libre circulación del agua en el interior de la balsa tras la destrucción de su muro perimetral, ha ido modelando una red hidrológica dendrítica colonizada por algas verdes, que rompe la geometría de la estructura artificial subyacente, formada por almorrónes cubiertos de almajos y por el limo cubierto de salitre.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.

Salinas de San Fernando, Cádiz





Isla del Trocadero, Puerto Real, Cádiz

36° 31' 22.66" N - 6° 12' 05.39" W
15 de noviembre de 2007

Isla originada por depósitos limosos fluvio-marinos que dan origen a una marisma de influencia mareal. La fotografía muestra depósitos de limo en un punto de convergencia de corrientes. Las zonas inundables aparecen cubiertas de algas verdes enteromorfas (ulvales) y las vetas por especies halófitas. Un grupo de gaviotas reidoras (*Larus ridibundus*) descansa sobre una veta.

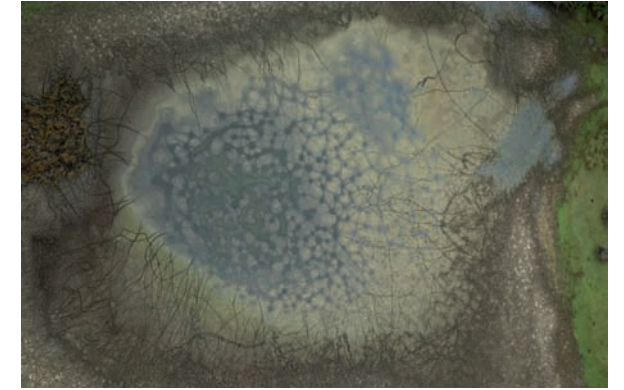
Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



36° 57' 25.89" N - 6° 26' 07.36" W
18 de septiembre de 2008

Laguna temporal de la Vera de Doñana desecándose durante el estío. En las orillas y en el fondo cenagoso ha quedado impreso el mapa de los recorridos de jabalíes, garzas y cigüeñas en busca del alimento que ha quedado atrapado en las zonas más profundas.

Estatus de protección: Espacio Natural Doñana.
Parque Nacional.



Laguna del Sopotón. Parque Nacional de Doñana, Huelva



Salinas de Sancti Petri, Chiclana, Cádiz

36° 25' 11.13" N - 6° 12' 36.90" W
12 de febrero de 2008

Salina tradicional abandonada. Paralelamente al muro perimetral de captación de agua puede observarse un caño originado por extracción de la tierra utilizada para su construcción. La fotografía muestra el desarrollo de una red de drenaje dendrítica en torno a esta estructura longitudinal artificial.

Estatus de protección: Parque Natural de la Bahía de Cádiz.



36° 28' 50.07" N - 6° 11' 52.74" W
24 de noviembre de 2005

Marismas formadas por el aporte de materiales del río Piedras y la dinámica fluvio-mareal. La gran extensión de una cuenca con escaso relieve y la protección costera de las dunas frente al oleaje, propician la formación de extensas orillas de diseño horizontal sobre las que se desarrolla una red hidrológica meandriforme somera, cuyos brazos secundarios tienden a cortarse formando pequeñas lagunas.

Estatus de protección: Parque Natural de la Marisma del Río Piedras y Flecha del Rompido.

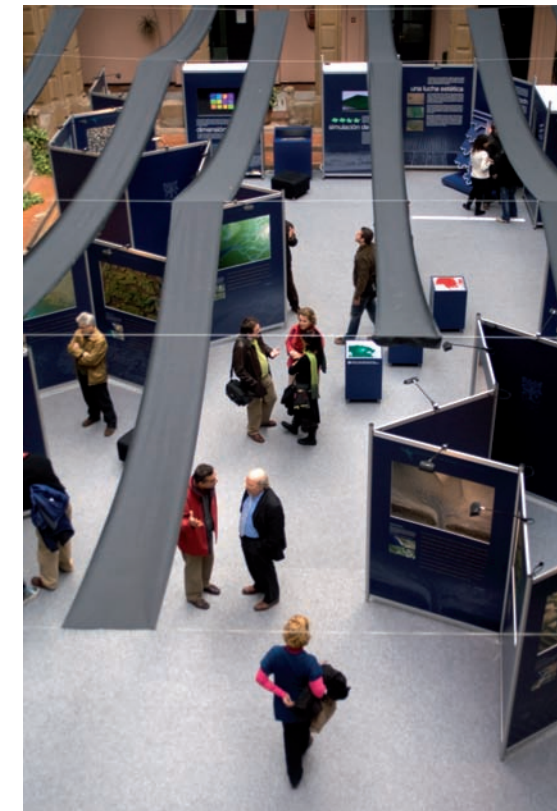


Marismas del Río Piedras, Cartaya, Huelva

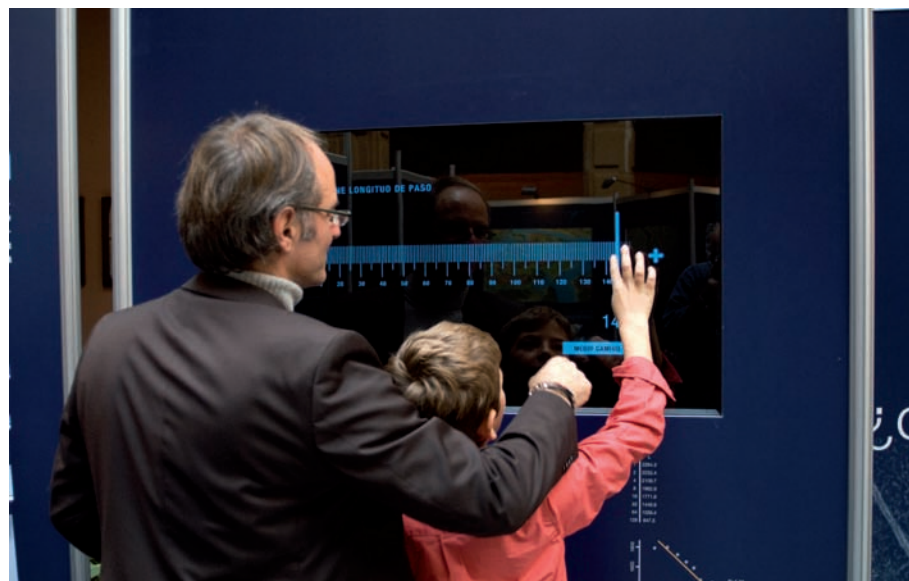




la exposición



“Armonía fractal de Doñana y las marismas” es un proyecto complejo que pretende acercar la ciencia y la expresión artística a través de elementos cercanos. Participan en esta aventura, además de los científicos y divulgadores, literatos, pintores, músicos, periodistas,.... Se trata de un conjunto de elementos variados que son vertebrados por las fotografías aéreas de H. Garrido y la dirección científica de J. M. García Ruíz. El proyecto pretende crear un ambiente propicio para que los interesados por el arte puedan dar un paso hacia la ciencia, al tiempo que los cercanos a la ciencia hacen lo propio hacia el arte.



Una exposición itinerante es el eje central del proyecto. Inaugurada originalmente en diciembre de 2008 en el Pabellón de Perú -de la Exposición Iberoamericana de 1929 en Sevilla-. Un edificio bello y singular que ha albergado durante los últimos veinte años la sede de la Estación Biológica de Doñana, instituto del CSIC que se despide con este acto para trasladarse a su nueva sede en la Isla de la Cartuja.

La exposición "Armonía fractal de Doñana y las marismas" es, además, la primera actividad que afronta el Pabellón de Perú en esta nueva época que comienza cuyo objetivo es convertirlo en un centro de divulgación científica para la ciudad de Sevilla.

www.armoniafractal.com





Arte y ciencia magistralmente unidos en una obra donde es la propia Tierra quién se expresa. A partir de un conjunto de espectaculares fotografías aéreas el lector se adentrará en el fascinante mundo de la geometría fractal. Toda una reflexión visual sobre la eterna lucha del hombre (bajo la forma de la geometría euclidiana) y la naturaleza (geometría fractal).



CASA de La CIENCIA
Consejo Superior de Investigaciones Científicas



Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE