

TEXTOS DOCENTS

234

# PRÁCTICAS DE ECOLOGÍA OCEÁNICA

Marta Pérez  
Javier Romero

**CONTÉ DVD**

Departament d'Ecologia



UNIVERSITAT DE BARCELONA



TEXTOS DOCENTS

234

# PRÁCTICAS DE ECOLOGÍA OCEÁNICA

Marta Pérez  
Javier Romero

*Con la colaboración de:*

Jordi Flos  
Miguel Ángel Mateo  
Tecla Riera  
Joandomènec Ros  
Montserrat Vidal  
Mikel Zabala

Departament d'Ecologia

**Publicacions i Edicions**



UNIVERSITAT DE BARCELONA



## INTRODUCCIÓN

La edición de este manual de prácticas tiene, para sus autores, cierto aire de punto final de una larga historia. No en el sentido del punto final concluyente y sepulcral, sino en el de culminación de una tarea que se ha ido extendiendo a lo largo de muchos años. Y como culminación es una palabra con matices de soberbia, tal vez sea mejor decir que lo que aquí se presenta es la formalización como manual de unas prácticas que empiezan a tener una rancia tradición.

La fascinación, emocional, intelectual o una mezcla irresoluble entre ambas, por el mar y el océano es un hecho común en muchos jóvenes; canalizar esta fascinación a través de una cierta disciplina científica, sea química, geología, biología, física o cualquier otra es algo a lo que aspiran un número creciente de estudiantes universitarios, actuales o en potencia. Desgraciadamente, esta aspiración no siempre tiene posibilidades de satisfacerse por las escasas oportunidades que ofrece la enseñanza superior de este país en el campo de las ciencias marinas. La Ecología Oceánica es una de las pocas asignaturas de clara y explícita vocación marina que se imparten en la Universidad de Barcelona y en toda Cataluña, y uno de los objetivos de este texto es reforzar su continuidad.

El peso de la historia en los procesos ecológicos marinos es, a menudo, muy importante; también lo es en la mayor parte de realizaciones humanas, y las prácticas cuya guía pretende ser el presente texto tienen una historia especialmente densa, que no podemos evitar mencionar.

Como en cualquier otra narración histórica relacionada con la ecología, es obligatorio remontarse hasta 1967, cuando el doctor Ramón Margalef obtiene su cátedra de Ecología, hito que marca formalmente el inicio de la docencia de la ecología en la Universidad de Barcelona y en el país. A la asignatura básica (“Ecología”) pronto le siguió una primera asignatura acuática, “Limnología”, pero hubo que esperar hasta 1980 para ver aparecer una “Oceanografía”, aún sin efectos académicos y que resultaba de la fusión de un curso de doctorado de Joandomènec Ros sobre ecología bentónica, una parte de física y química a cargo de Jordi Flos y una importante contribución del propio Margalef sobre ecología del plancton marino. La buena acogida por parte de un alumnado con muchas ganas de ampliar sus conocimientos de ecología marina, ampliado por un grupo de “nostálgicos” ya licenciados pero que no querían perderse un curso de tales características, hizo que la asignatura pasara ya a impartirse con efectos académicos a partir del año siguiente.

Consolidada pues la Oceanografía como materia optativa del plan de estudios (el de 1975j), se planteaba el reto de, con unos recursos mínimos, intentar completar los contenidos teóricos con una parte práctica imprescindible. Tras algunos ensayos más o menos variopintos, bienintencionados pero no muy eficaces, unos cuantos profesores dimos con una fórmula que parecía prometedora. Contábamos con la experiencia de unas prácticas de campo que el Departamento había iniciado, hacia 1982, y que consistían en una estancia de una semana en la estación experimental de La Castanya, en el Montseny. Durante esa semana, una veintena de estudiantes y dos o tres profesores abordaban experimentalmente una serie de temas de ecología, obtenían resultados y los discutían. El ambiente de trabajo que se creaba era excelente, y la aceptación por parte de los alumnos notable. Se trataba, pues, de trasladar el modelo de La Castanya a unas prácticas marinas, y a ello nos aplicamos un grupo de profesores (Jordi Flos, Tecla Riera, Mikel Zabala, Enric Ballesteros, hoy investigador del CSIC y yo mismo), con más entusiasmo que sabiduría y con más dedicación que medios. La propuesta fue lanzada a los estudiantes de entonces, y acogida por éstos de manera admirable. Así que, pertrechados de una embarcación neumática, cuatro equipos de buceo, unos pocos instrumentos y mucha ilusión, nos embarcamos en la aventura de pasar unos días en la casa que la familia

Rubau tuvo a bien alquilarnos a un precio módico en Gualta, cerca de Torroella de Montgrí, dedicados al estudio experimental y a la discusión sobre oceanografía. Corría el año 1985, y aunque la improvisación dominaba sobre la planificación y lo imprevisto adquiría aires de cotidiano, el experimento fue positivo y todos, profesores y estudiantes, quedamos plenamente satisfechos con aquel ensayo. En años sucesivos, la semana de prácticas en Gualta se consolidó, los contenidos se fueron depurando y la programación ganó en eficacia. Poco a poco, el desembarco de los estudiantes de Oceanografía en Can Rubau, la transformación súbita de cocinas y salones en laboratorios, el apoyo afectuoso e infatigable de nuestros anfitriones (la amabilidad de la Sra. Rubau, la indulgente curiosidad del Sr. Rubau, la eficacia total y la excelente disposición de Pere Rubau y la simpatía brasileña, café y “fritelos” incluidos para las horas bajas, de Isabel), las cenas y desayunos en Ca La Paqueta, de Gualta, las largas horas encima o debajo del agua y en los improvisados laboratorios, las discusiones hasta altas horas de la noche... todo ello se hizo un referente anual en nuestra vida docente, y creemos que significó una aportación importante a la formación de nuestros estudiantes. Con la incorporación de una nueva asignatura, “Biología Marina”, orientada a temas ecológicos, a la docencia del Departamento de Ecología (en el curso 1987/1988), se duplicaba el número de horas de nuestra oferta de especialización en temas relacionados con el mar; la antigua “Oceanografía” pasó a orientarse pues de manera exclusiva a aspectos geofísicos y geoquímicos. Aumentaba también el número de alumnos, y debían ampliarse las plazas de prácticas a dos turnos (dos semanas) y luego a tres. Mejoraba, poco a poco, la calidad del material, con la adquisición de algunos aparatos e instrumental; se incorporaba, también, nuevo profesorado (Marta Pérez, Montserrat Vidal, Joandomènec Ros; más adelante, Felipe Fernández, Margarita Menéndez, M<sup>a</sup> José Cardell, Xavier Rodó, Miguel Ángel Mateo) y muy a menudo estudiantes de doctorado, que habían hecho las prácticas como alumnos, colaboraban con entusiasmo en el buen fin de las tareas. A la vez, se diseñaban nuevos experimentos y se ajustaban los temarios.

La reforma de los planes de estudio supuso un claro retroceso en la oferta de asignaturas de especialización en el ámbito marino. En efecto, el plan de estudios que empezó a impartirse en el curso 1992-1993 suponía la desaparición de nuestras dos asignaturas “Biología Marina” y “Oceanografía” (de 90 horas anuales cada una) y su substitución por “Ecología Oceánica” de 45 horas. A la espera de una licenciatura de Ciencias del Mar, que entonces se veía inminente y que casi diez años más tarde, en el momento de escribir este texto, se contempla como una posibilidad remota, la formación de biólogos en el campo de la ecología y la biología marina se veía seriamente recortada. Paradójicamente, el número de alumnos, al ser una asignatura troncal, aumentaba.

Por otra parte, la facultad hizo un notable esfuerzo para dotar las prácticas de las nuevas asignaturas con material adecuado; esto nos permitió modernizar nuestros equipos y adquirir nuevos aparatos, con lo cual se pudieron abordar trabajos prácticos en oceanografía y ecología marina que hasta entonces nos habían estado vedados. Simultáneamente, fruto de una colaboración institucional y del trabajo tanto científico como “diplomático” de uno de nuestros profesores (J. Flos), la universidad adquirió el post-olímpico “Prensa4”, rebautizado “Caribdis”, nuestra embarcación oceanográfica; gracias a una subvención específica, pudo ser adecuado como barco dedicado a la oceanografía costera y fue funcional a partir de 1994. Mucho menos que un auténtico barco oceanográfico, pero mucho más que una neumática, pensado en principio para investigación, pronto se vieron y se explotaron las posibilidades del Caribdis en el campo docente.

Así, y aun perdiendo peso en el conjunto de la licenciatura, con el nuevo plan de estudios las prácticas de campo de Ecología Oceánica adquieren ya un nivel y un rigor técnico (entendemos que el científico lo tuvieron siempre) que consideramos muy satisfactorios. El forzado abandono de Gualta como centro operacional supuso un cierto golpe emocional para

los más antiguos, a los que los estudiantes, inevitablemente, nos oirán evocar con nostalgia el ambiente familiar y cordial que siempre encontramos allá. Pero la estancia en l'Estartit facilita enormemente toda la logística de las prácticas, y en particular nos permite acceder a un auténtico laboratorio, cedido desinteresadamente por el ayuntamiento de Torroella de Montgrí.

Lejos queda ya aquella semana pionera de 1985. Disponemos de locales adecuados, de sensores, de registradores, de cámaras de incubación, de dos embarcaciones semirrígidas y de un pequeño barco-laboratorio. Seguimos contando con el apoyo de personas e instituciones: además de las ya mencionadas, Josep M<sup>a</sup> Llenas, Náutica Vert y el Club Náutico de l'Estartit. El profesorado se ha renovado parcialmente, y los que seguimos mantenemos, con más canas y más años, al menos algo del entusiasmo inicial, tal vez menos juvenil, desde luego, pero entusiasmo al fin y al cabo. Las prácticas han madurado, se han hecho más completas y más ambiciosas, pero la experiencia indica que se obtienen muy buenos resultados. Había pues llegado el momento de que la documentación de las prácticas, hojas fotocopiadas hasta entonces, sufriera también un proceso de formalización y puesta al día. Era necesario disponer de un manual de referencia donde los estudiantes pudieran encontrar algo menos volátil que la memoria de una semana intensa, y algo menos impreciso, erróneo y sesgado que unos apuntes personales. También se hacía cada vez más imprescindible preparar una documentación que facilitara el acceso a la comprensión de los contenidos de la semana de prácticas a aquellos alumnos a los que les resulta imposible abandonar sus otras obligaciones para embarcarse con nosotros en estos días de trabajo y estudio. Por último, tal vez era una buena idea compartir, en lo que pudiera tener de aprovechable, nuestra experiencia en la docencia de la ecología marina con otros enseñantes de esta o de otras universidades.

Aunque la tarea de elaboración y recopilación que se presenta ha ido a cargo de dos personas, las prácticas de Ecología Oceánica son, intelectualmente, una obra colectiva de un conjunto de profesores que han aportado competencia y dedicación a una tarea técnicamente difícil: la enseñanza práctica en un medio a veces tan poco acogedor como el marino. El reconocimiento de este hecho, que queda plasmado en la autoría del manual, debe ir acompañado del reconocimiento de otra aportación no menos importante: la de los estudiantes, que en número que debe empezar a acercarse al millar, desde 1985 hasta el 2000 han asistido a estas prácticas. Como profesores nos damos cuenta de que hemos aprendido de ellos casi tanto como ellos de nosotros, y ha sido su participación activa y su respuesta lo que nos ha permitido depurar, ajustar y perfeccionar el contenido de estas prácticas. De todo ha habido, por supuesto, pero la tónica general durante estos años ha sido de entusiasmo, interés y participación; además, por supuesto, de indulgencia cuando las condiciones meteorológicas eran adversas, el estado del mar causaba estragos en la moral o los locales no eran todo lo confortables que uno hubiera deseado.

El deseo de los autores de este manual es que este espíritu se mantenga todavía muchos años y que la semana de prácticas marinas continúe siendo un referente para docentes y discentes, donde profesores y alumnos encuentran algo tan necesario en nuestra universidad como son unas condiciones propicias para el trabajo intensivo, la reflexión, la discusión y, porqué no, la simple conversación.

Javier Romero

Fotografías cedidas por: Alina de Echániz, Biel Obrador, Marta Pérez y Javier Romero

## INDICE

### CAPÍTULO 1

<b>ESTUDIO OCEANOGRÁFICO DE UN SISTEMA DE MEZCLA ENTRE AGUAS CONTINENTALES Y MARINAS.</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción</b> .....	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	2
<b>1.3. Metodología</b> .....	2
<b>1.3.1. Trabajo de campo</b> .....	2
1.3.1.1. Estaciones oceanográficas .....	2
1.3.1.2. Descriptores o variables a medir .....	4
<b>1.3.2. Tratamiento de las muestras</b> .....	5
<b>1.3.3. Tratamiento de los datos</b> .....	5
1.3.3.1. Mapas horizontales .....	5
1.3.3.2. Perfiles verticales .....	6
1.3.3.3. Diagramas de dispersión .....	6
<b>1.4. Resultados</b> .....	7
<b>1.5. Cuestiones de reflexión</b> .....	13
<b>1.6. Bibliografía</b> .....	13
<b>Anexos</b> .....	15
<i>Anexo 1.1. Lista de material de muestreo de campo</i> .....	17
<i>Anexo 1.2. Estadillo de toma de datos de campo</i> .....	18
<i>Anexo 1.3. Sistemas de posicionamiento</i> .....	19
<i>Anexo 1.4. Protocolos de análisis químicos</i> .....	23
1. <i>Análisis de la concentración de oxígeno disuelto</i> .....	24
2. <i>Análisis de nitritos</i> .....	26
3. <i>Análisis de nitratos</i> .....	28
4. <i>Análisis de amonio</i> .....	30
5. <i>Análisis de fosfato</i> .....	32
6. <i>Determinación de pigmentos</i> .....	34
<i>Anexo 1.5. Sonda multiparamétrica o CTD</i> .....	36
<i>Anexo 1.6. Muestreo de agua mediante botellas hidrográficas</i> .....	38
<i>Anexo 1.7. Cálculo del tiempo de residencia del agua dulce en el sistema de mezcla</i> .....	39

### CAPÍTULO 2

<b>ESTUDIO DEL ZOOPLANCTON Y DE SUS MIGRACIONES VERTICALES</b> .....	<b>43</b>
<b>2.1. Introducción y objetivos</b> .....	43
<b>2.2. Metodología</b> .....	44
<b>2.1. Muestreo de campo</b> .....	44
<b>2.2.2. Procesamiento de las muestras</b> .....	45
<b>2.2.3. Tratamiento de datos</b> .....	45
<b>2.3. Resultados</b> .....	47
<b>2.4. Cuestiones de reflexión</b> .....	50
<b>2.5. Bibliografía</b> .....	50
<b>Anexos</b> .....	51
<i>Anexo 2.1. Lista de material de muestreo de campo</i> .....	53
<i>Anexo 2.2. Test de comparación de medias basado en la distribución t- Student.</i> .....	54

## CAPÍTULO 3

<b>PRODUCCIÓN PRIMARIA, TRANSFERENCIAS TRÓFICAS Y BALANCE METABÓLICO: EL EJEMPLO DE LA FANERÓGAMA MARINA <i>POSIDONIA OCEANICA</i> Y DEL ERIZO DE MAR <i>PARACENTROTUS LIVIDUS</i>.</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1. Introducción y objetivos</b> .....	57
<b>3.2. Metodología</b> .....	59
<b>3.2.1. Muestreo de campo</b> .....	59
<b>3.2.2. Metodología de laboratorio</b> .....	61
<b>3.2.2.1. <i>Posidonia oceanica</i>: morfología y bases para la estima de su producción y de la             transferencia hacia niveles tróficos superiores</b> .....	61
<b>3.3.3.2. Metodología de estudio de <i>Posidonia oceanica</i></b> .....	65
<b>3.2.2.3. Elementos para desarrollar un balance trófico de la población de erizos</b> .....	68
<b>3.3. Resultados</b> .....	71
<b>3.4. Cuestiones de reflexión</b> .....	76
<b>3.5. Bibliografía</b> .....	76
<b>Anexos</b> .....	77
<b>Anexo 3.1. Lista de material de muestreo de campo</b> .....	79
<b>Anexo 3.2. Disección del erizo de mar</b> .....	80
<b>Anexo 3.3. Oxímetro: principios básicos y funcionamiento</b> .....	81

## CAPÍTULO 4

<b>ESTUDIO DE LA FOTOSÍNTESIS EN ALGAS BENTÓNICAS MARINAS</b> .....	<b>85</b>
<b>4.1. Introducción</b> .....	85
<b>4.2. Objetivos</b> .....	87
<b>4.3. Experimento 1: curvas fotosíntesis-irradiancia</b> .....	87
<b>4.3.1. Preparación de los ejemplares</b> .....	88
<b>4.3.2. Diseño experimental</b> .....	88
<b>4.3.3. Tratamiento de datos</b> .....	89
<b>4.4. Experimento 2: uso de bicarbonato como fuente de carbono inorgánico para la     fotosíntesis algal</b> .....	89
<b>4.4.1. Principios básicos</b> .....	90
<b>4.4.2. Preparación de ejemplares e incubaciones</b> .....	90
<b>4.4.3. Diseño experimental</b> .....	90
<b>4.5. Resultados</b> .....	91
<b>4.6. Cuestiones de reflexión</b> .....	94
<b>4.7. Bibliografía</b> .....	94
<b>Anexos</b> .....	95
<b>Anexo 4.1. Lista de material de muestreo de campo</b> .....	97
<b>Anexo 4.2. Preparación de la acetazolamida</b> .....	98
<b>Anexo 4.3. La luz y su medida</b> .....	99

# *Capítulo 1*

## *ESTUDIO OCEANOGRÁFICO DE UN SISTEMA DE MEZCLA ENTRE AGUAS CONTINENTALES Y MARINAS*



# CAPÍTULO 1

## ESTUDIO OCEANOGRÁFICO DE UN SISTEMA DE MEZCLA ENTRE AGUAS CONTINENTALES Y MARINAS.

### 1.1. Introducción

Las áreas marinas que reciben aportes de aguas continentales (estuarios, rías, etc.) se caracterizan por una heterogeneidad espacial notable, así como por una estructura hidrográfica compleja. Ello es el resultado de la interacción entre dos tipos de agua (continental y marina) de características fuertemente contrastadas. La menor densidad del agua dulce le permite extenderse sobre el agua marina, causando una estratificación, con formación de un gradiente de densidad o pycnoclina, más o menos marcada en función de las condiciones locales; a esta heterogeneidad sobre el eje vertical se le añade un gradiente horizontal que puede ser progresivo, resultado de una mezcla gradual entre los dos tipos de agua, o relativamente abrupto, con formación de frentes.

Generalmente, la variabilidad temporal también es elevada, de manera que las estructuras pueden formarse y deshacerse en tiempos relativamente cortos.

Factores como el flujo de los aportes de agua dulce, la morfología y orientación de la costa, la batimetría del área, la insolación, los vientos, las mareas y el hidrodinamismo en general determinan las características hidrográficas del sistema de mezcla. En un sistema ideal, con el medio marino receptor inmóvil (sin olas, mareas, corrientes ni vientos), y produciéndose la entrada de agua dulce a través de un punto de una costa rectilínea y perpendicular a la misma, dicha agua dulce se extendería por la superficie, separándose de la costa y abriéndose progresivamente, en forma de penacho o, como se le suele denominar, pluma. Como es lógico, esta situación ideal no se da nunca, y la complejidad en la estructura del sistema de mezcla suele ser elevada.

La heterogeneidad física, reflejada por la distribución espacial de la temperatura y la salinidad, va acompañada de una marcada heterogeneidad química y biológica. Efectivamente, aguas con la misma temperatura y salinidad, producto de la mezcla de aguas continentales y marinas, pueden no ser ecológicamente equivalentes, al haberse producido dicha mezcla en momentos distintos. Hay que tener en cuenta que a los procesos físicos de mezcla y dilución se superponen los procesos, más lentos, asociados al metabolismo anabólico o catabólico de los organismos, y al desarrollo de poblaciones planctónicas adaptadas a los ambientes nuevos que se van formando en el interior, en los bordes y en los alrededores de la pluma o de las distintas “manchas” o “lentejas” de agua parcialmente desalada.

## 1.2. Objetivos

El objetivo de esta práctica es obtener una descripción razonablemente completa de un área marina que recibe aguas continentales.

Esto incluye:

- la descripción física tridimensional del sistema, mediante el análisis gráfico de la distribución espacial de la temperatura, la salinidad y la densidad.
- la búsqueda de estructuras espaciales, de coherencias y discordancias entre variables físicas, químicas y biológicas.
- una caracterización de las condiciones ecológicas de las distintas masas de agua que aparecen en la zona, sobre todo en términos de recursos para la producción primaria (sales nutritivas, luz), de biomasa fitoplanctónica (clorofila y otros pigmentos) y otros indicadores de metabolismo (concentración de oxígeno disuelto).

La descripción, que tratará de dar una visión instantánea de un medio muy cambiante, debe servir como marco para entender el sistema y formular hipótesis razonables sobre su modo de funcionamiento y sobre los procesos más relevantes que lo caracterizan.

Las tareas necesarias para dar alcance a estos objetivos van a requerir también que el alumno entre en contacto directo con los instrumentos y métodos básicos usados en oceanografía, se familiarice tanto con la metodología de recogida, transporte y conservación de muestras como con la organización del trabajo analítico en el laboratorio y, finalmente, que adquiera un mínimo de soltura en la confección de una hoja de resultados numéricos y en su explotación mediante la realización e interpretación de distintos tipos de gráficos de isolíneas y diagramas de dispersión.

## 1.3. Metodología

### 1.3.1. Trabajo de campo

#### 1.3.1.1. Estaciones oceanográficas

En oceanografía los datos de campo se obtienen en general de dos maneras: a) desde una posición fija en el espacio (medidas eulerianas), b) desde una posición móvil, desplazándose con la corriente (medidas lagrangianas).

Lo más usual es que el barco se detenga en distintos lugares escogidos previamente, cubriendo una red de puntos de muestreo o “estaciones”. Si esta red se recorre en un tiempo suficientemente corto para que los cambios que pudieran ocurrir durante el muestreo no sean de magnitud igual o superior a las diferencias entre estaciones, se podrá considerar que los datos obtenidos son simultáneos y nos permitirán confeccionar mapas de distribución “instantánea” de las variables de interés.

Estrictamente hablando, cada uno de estos puntos de muestreo en los que el barco se detiene para tomar muestras y realizar medidas es una estación oceanográfica; no obstante, los oceanógrafos incluyen en el concepto de estación al conjunto de operaciones que tienen lugar en cada uno de dichos puntos geográficos. Por ello, cada estación viene perfectamente

identificada por la posición ( $x,y$ ) y la hora ( $t$ ). En cada parada generalmente se toman muestras de agua y se realizan mediciones a distintas profundidades ( $z$ ).

La distribución espacial de la malla de estaciones y el orden del recorrido de la embarcación o embarcaciones que realizan el muestreo deben estudiarse cuidadosamente, tratando de cumplir lo mejor posible los objetivos fijados. Algunas de las recomendaciones básicas que hay que tener en cuenta son:

1) para obtener información adecuada para la descripción geográfica mediante mapas de isolíneas, la red de estaciones debe cubrir toda la zona; cada zona de interés debe estar dentro de un polígono con vértices en sendas estaciones; en principio es deseable que las distancias entre estaciones sean constantes, pero en los lugares donde se aprecien o sospechen gradientes más fuertes, debe aumentarse la densidad espacial de las estaciones

2) para disponer de datos adecuados para el estudio de los procesos de dilución y mezcla, hay que tratar de muestrear en todo el rango de salinidades a lo largo del gradiente

3) para poder tratar las medidas como simultáneas hay que minimizar el tiempo total de muestreo; en todo caso, realizarlo de tal modo que haya una buena concordancia entre la distancia espacial y el desfase temporal entre estaciones; si el sistema es muy dinámico y hay que realizar varias series de muestreos (es decir, series de estaciones separadas significativamente en tiempo), conviene tratar por separado cada serie durante el análisis de los datos.

La malla de estaciones debe siempre diseñarse teniendo en cuenta el tiempo de barco disponible, que es un factor limitante en cualquier trabajo oceanográfico. El tiempo necesario para el muestreo incluye tanto el tiempo dedicado a la navegación (desplazamiento, maniobras de fondeo...) como el tiempo dedicado propiamente a las operaciones de muestreo y mediciones. En el diseño (especialmente si se trata de un diseño de prácticas) habrá también que tener en cuenta el tiempo que habrá que dedicar en el laboratorio al procesamiento de las muestras, y así no tomar un número de éstas superior al que podrá ser analizado. Dado que no todas las variables requieren, para su medición, el mismo tiempo (en el mar o en el laboratorio), las variables que se pueden medir con rapidez pueden cubrir una malla más fina, mientras que las variables que requieren mucho esfuerzo analítico o tiempo de estancia en las estaciones, se obtendrán con menor frecuencia. Por ello, la temperatura y la salinidad, que se obtienen generalmente mediante sensores "in situ" y son por ello medidas rápidas, pueden obtenerse con una frecuencia elevada. Ello permite obtener una descripción física bastante fina de la zona, que ayudará a interpretar o cubrir los huecos que debido a un muestreo más laxo muestren las variables químicas y biológicas.

Con estas condicionantes, una distribución posible de las estaciones de muestreo sería (ver también figura 1.1):

- cuatro estaciones completas en un transecto perpendicular a la costa, desde la desembocadura del río hacia mar adentro, con muestras para nutrientes y clorofila a 0, 1, 5, 10, 20 y 40 m, variando según sea la estratificación y la profundidad del punto muestreado
- estaciones intermedias complementarias entre las anteriores con perfiles de salinidad y temperatura
- dos transectos paralelos al primero, situados al N y al S del mismo, que acabarán en la isobata de 10 m y con sólo tres estaciones, siendo la central completa y de sólo salinidad y temperatura las extremas.
- dos o tres estaciones en el propio río

- otras estaciones complementarias que completen o extiendan la retícula.

La distribución mencionada es sólo orientativa, y la situación de las estaciones y el número de muestras deberá ser decidida en cada caso con arreglo al estado de la pluma, a la meteorología y a las contingencias del muestreo. Se recomienda no sobrepasar las 15-20 muestras para nutrientes, ni superar en total las 15 estaciones de muestreo.

La toma de datos y muestras en cada estación deberá hacerse de acuerdo a unos procedimientos homogéneos; el uso de una hoja normalizada de toma de datos puede resultar de gran ayuda (ver anexo 1.2), y para cada estación es imprescindible anotar:

- posición, determinada mediante alguno de los tres sistemas de posicionamiento explicados en el anexo 1.3;
- hora de inicio y hora final de la estación;
- número de la estación;
- tipo de datos obtenidos (perfiles, muestras de agua, etc.) y a qué profundidades.
- profundidad de la estación;
- información complementaria sobre estado del mar, nubosidad y otras incidencias.

### 1.3.1.2. Descriptores o variables a medir

En los estudios oceanográficos, las variables sobre las que se adquiere información son numerosas, y se escogen unas u otras en función tanto de los objetivos de cada estudio en concreto como de la disponibilidad de instrumentos o técnicas analíticas. En nuestro caso, las variables que se pueden determinar son las siguientes:

#### a) Físicas:

- Temperatura (°C) y Salinidad. Ésta última, calculada a partir de la conductividad, se expresa en unidades prácticas de salinidad (PSU = “practical salinity units”) y viene a ser aproximadamente igual al contenido en sales (gramos de sal por kilogramo de agua).

- Densidad del agua, calculada a partir de la temperatura, la salinidad y la presión, se expresa en  $\text{kg m}^{-3}$ , si bien en oceanografía se usa a menudo sigma-t, igual a la densidad menos 1000.

- Transparencia del agua, expresada como la profundidad de visión del disco de Secchi (DS) en metros.

- Luz, expresada como la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en unidades cuánticas ( $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Suele ser más interesante la medida de la transparencia del agua que los valores instantáneos de luz.

- Transmitancia: medida de la turbiedad del agua. El sensor conectado al CTD mide, porcentualmente, la cantidad de luz (a una longitud de onda de 750 nm) que atraviesa un recorrido óptico de 25 cm; dicho valor se considera inversamente proporcional a la concentración de partículas en suspensión

#### b) Químicas:

- Concentraciones de sales nutritivas, y en particular nitratos, nitritos, amonio y fosfatos (en  $\mu\text{M}$ ).

- Concentración de oxígeno disuelto en el agua (en ppm o  $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ).

### c) Biológicas:

- Concentración de clorofila a.
- Estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica.

Los métodos y protocolos para cada tipo de medida se detallan en los anexos adjuntos. Baste señalar aquí que luz (ver anexo 4.3), salinidad, temperatura, fluorescencia (estima indirecta de la clorofila) y concentración de oxígeno (ver anexo 3.3) pueden medirse con sensores adecuados, de mano o integrados en una única sonda (CTD, ver anexo 1.5). Por otra parte, la medida de la concentración de sales nutritivas, de clorofila y, opcionalmente, también de oxígeno disuelto, se realizan mediante la obtención de muestras de agua (con botella hidrográfica Niskin, ver anexo 1.6) y posterior análisis en el laboratorio (ver anexo 1.4).

#### 1.3.2. Tratamiento de las muestras

Las muestras de agua deben ser tratadas y conservadas de acuerdo con el tipo de análisis al que se las va a someter. Así, las muestras para determinación de clorofilas serán de un mínimo de 2 litros y un máximo de 4 litros. Para la determinación de sales nutritivas (excepto amonio), se tomarán al menos 500 ml de agua, que podrán ir en botella de plástico. Para determinación de amonio son necesarios 100 ml, en frasco de vidrio de color topacio (protección frente a la luz), y para el oxígeno (si procede) se tomarán de 50 a 250 ml de agua, almacenándose en frascos de color topacio con tapón esmerilado. Si el tiempo entre la toma de la muestra y su análisis es inferior a las 24 horas, sólo es necesario añadir fijadores a las muestras de oxígeno (los dos primeros reactivos de la determinación, ver anexo 1.4).

Las botellas para recoger agua para los distintos análisis deberán estar correctamente etiquetadas y antes de llenarlas deben ser lavadas (como mínimo dos veces) con agua de la misma muestra. Las muestras, una vez en el laboratorio, se conservan en fresco y en la oscuridad hasta el momento del análisis.

#### 1.3.3. Tratamiento de los datos

Una vez obtenidos todos los datos, se tabularán (al menos los de las estaciones principales, ver tabla 1.1 como ejemplo) y se analizarán adecuadamente. Es recomendable introducir los datos en una hoja de cálculo (Excel, Lotus, etc.) de modo que luego se pueda disponer de ellos para un posible tratamiento, gráfico o estadístico.

Tratándose esencialmente de estructuras en el espacio, la representación gráfica de los datos es una herramienta muy valiosa, y es altamente recomendable elaborar a mano y sobre papel milimetrado los gráficos. Ello podrá eventualmente complementarse con una estadística algo más formal (correlaciones, análisis de componentes principales...). Los tipos de representaciones gráficas más comunes en hidrografía se explican a continuación.

##### 1.3.3.1. Mapas horizontales

El sistema de mezcla es una estructura tridimensional sobre la cual varían las variables de interés (salinidad, nutrientes, etc.). Los mapas de isolíneas vienen a ser representaciones de cortes o secciones de este espacio tridimensional; dichos cortes pueden ser horizontales (x, y), incluyendo todos los puntos que se hallen a una misma profundidad, o verticales (con el eje z en ordenadas), incluyendo los perfiles de una serie de estaciones alineadas.

Para confeccionar un mapa de isolíneas (ver como ejemplo la figura 1.2, donde se

representa la salinidad), se sitúan en el plano de la sección escogida los puntos en los que se han tomado datos, y en cada punto el valor de la variable que hemos escogido para representar que le corresponde. De esta manera, obtenemos una malla de datos reales, observados; a partir de los valores mínimo y máximo que toma la variable en el retículo (o en el conjunto del muestreo), y de la precisión de las medidas, definiremos los valores exactos que queremos localizar en el espacio mediante interpolación; dichos valores deberán mostrar un incremento constante entre ellos para la correcta visualización de los gradientes. Sobre todo, no debe extrapolarse; es decir, no debemos inferir valores supuestos para las variables de interés fuera del polígono definido por nuestro conjunto de observaciones. Hecha la interpolación, se dibujan las líneas que unen los puntos con el mismo valor de la variable. El hecho de que entre las isolíneas haya un valor de incremento constante facilitará no sólo la correcta visualización de los gradientes, sino cálculos o estimaciones numéricas posteriores. Es importante que haya un número suficiente de isolíneas que dé una buena idea de la distribución general de los gradientes; a la vez, para facilitar la inteligibilidad de las gráficas, se recomienda que no haya un número excesivo: alrededor de seis isolíneas por gráfica puede ser un buen valor de referencia. La elaboración manual de un gráfico de isolíneas es a veces frustrante, pero a la vez sumamente aleccionadora y demanda grandes dosis de sentido común, sobre todo cuando el número de puntos muestreado es escaso. Finalmente, hay que recordar que sólo tiene sentido dibujar isolíneas cuando éstas reflejan una variabilidad significativa (en el sentido de no aleatoria) en el espacio.

### **1.3.3.2. Perfiles verticales**

Son representaciones de determinada variable en función del eje z (la profundidad; ver como ejemplo las figuras 1.3 a y b, para la salinidad y la temperatura, respectivamente). Por convención (y por tradición) la variable independiente (z, profundidad) se coloca en el semieje negativo de las ordenadas, y la variable dependiente en el de abscisas.

### **1.3.3.3. Diagramas de dispersión**

A cada punto muestreado, definido por sus coordenadas espaciales (posición en el plano y profundidad) le corresponden un conjunto de valores de las variables medidas. En un espacio definido por dos de tales variables podemos representar cada uno de los puntos de los que disponemos de datos; la gráfica correspondiente recibe el nombre de diagrama de dispersión.

#### ***Diagramas de dispersión especiales***

Diagramas de dilución. En este tipo de diagramas se representa una variable “conservativa” (esto es que no se ve afectada por los procesos químicos y biológicos) frente a una “no conservativa”, lo cual nos permite discernir si en el comportamiento de esta segunda intervienen únicamente procesos de dilución y dispersión física (que han de seguir el comportamiento de la variable conservativa) o bien otros procesos (transformaciones biológicas, y precipitación...) desempeñan un papel relevante, en cuyo caso esta segunda variable tendrá un comportamiento que se aparte del de la conservativa (ver figura 1.4 como ejemplo). La variable conservativa (típicamente la salinidad, en ocasiones la temperatura) se coloca en el eje de abscisas, y la variable a analizar en el de ordenadas.

Diagrama T-S. En los diagramas T-S, muy utilizados en oceanografía, las dos variables representadas son la temperatura (ordenadas) y la salinidad (abscisas, ver figura 1.5). Es muy conveniente dibujar las isopícnas de referencia en el mismo gráfico, así como indicar la profundidad a la que corresponden los puntos-muestra.