

LA ENSEÑANZA DE LA OCEANOGRAFÍA POR SATÉLITE

Manuel Cantón Garbín¹ y Ana Antoraz Pecharroman¹

RESUMEN: Presentamos en este trabajo una serie de consideraciones acerca de la importancia que posee la enseñanza de la Oceanografía por Satélite en diferentes contextos tanto profesionales como académicos. La enseñanza de esta técnica debería ser un requisito universal para todos los científicos y profesionales involucrados en la investigación y aplicaciones comerciales o de gestión del medio marino, independientemente de cuál sea su formación básica. Por supuesto, los requerimientos, programas y metodología a emplear dependerán del contexto, universitario o no, de estas enseñanzas.

TEACHING SATELLITE OCEANOGRAPHY

ABSTRACT: *In this work an analysis about the importance of teaching Satellite Oceanography is presented in order to obtain the major benefit in Oceanography and marine applications from this kind of data. The training of this technique must be an universal requirement for all the researchers and scientifics related with the ocean environment. Specific requirements and subjects are presented for different backgrounds and categories of oceanographers, remote sensing and comercial and protection marine specialist and students of marine science.*

ESTADO ACTUAL DE LA ENSEÑANZA EN OCEANOGRAFÍA POR SATÉLITE

En la evolución de una nueva metodología científica, no existe inicialmente una gran necesidad de educación en el tema, ya que los usuarios del conocimiento son precisamente aquellos investigadores que han desarrollado la técnica. Conforme la metodología gana aceptación y comienza a ser aplicada, los requerimientos educativos aumentan conforme aumenta el número de usuarios. Por último, la disponibilidad de personal debidamente entrenado, puede llegar a ser el

factor que limite la completa explotación de la técnica (Robinson, 1988)

Este es precisamente el estado alcanzado en la actualidad en las aplicaciones oceanográficas de la teledetección. Más de una década del lanzamiento del primer satélite diseñado específicamente para el estudio del océano, el SEASAT, año y medio después del lanzamiento de su gemelo, el ERS-1, y tras varios años de experiencia con satélites meteorológicos de órbita polar (NIMBUS y NOAA), la comunidad oceanográfica internacional acepta ahora a la teledetección como una técnica ya establecida. Sin embargo, el número de oceanógrafos involucrados en actividades relacionadas con la teledetección es aún relativamente pequeño, por lo que resulta necesario educar a los oceanógrafos para que puedan hacer un uso eficiente y puedan aprovechar toda la potencialidad de la nueva generación de satélites para observación de la Tierra, que estarán operativos durante la presente década (ERS-1, ALMAZ, RADARSAT, TOPEX, JERS, LANDSAT-6, ERS-2 y Plataforma Polar).

Nos parece hacer en este punto una breve reflexión acerca del carácter de la Oceanografía por Satélite (O.S). Hasta ahora se ha considerado que la O.S, tal vez por su juventud, es una técnica muy útil en Oceanografía, pero que en definitiva sólo es eso: una potente herramienta de observación. Esto es cierto si consideramos únicamente las plataformas de observación, los sensores que estos transportan, los datos obtenidos, y en todo caso, las técnicas de procesamien-

¹ Departamento de Física, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Apdo. 550, 35080 Las Palmas.

to de información necesarias para la obtención de los parámetros oceanográficos. Sin embargo, si damos un paso más y consideramos las ideas, teorías y modelos generados a partir de dichos datos, puede que estemos asistiendo al nacimiento de un campo que adquiera entidad propia en un futuro no muy lejano. Esto es en realidad lo que entendemos por Oceanografía por Satélite (Cantón, 1991).

Aunque en el momento actual existen varios textos específicos en O.S. (Robinson, 1985; Stewart, 1985; Saltaman, 1985), prácticamente no se ha escrito nada acerca de su enseñanza. Por el contrario, se ha dedicado bastante atención a la enseñanza y entrenamiento de la teledetección en aplicaciones terrestres, fundamentalmente en el campo del procesamiento de imágenes. Sin embargo, la mayoría de estas enseñanzas no son relevantes en las aplicaciones marinas, por varias razones.

En primer lugar, las metodologías de teledetección del océano difieren de las otras aplicaciones de la Teledetección, debido a la escala espacio-temporal de los procesos oceanográficos y a las variables de interés para el oceanógrafo, muy diferentes de las utilizadas en aplicaciones terrestres o atmosféricas. Esto da lugar a que las técnicas de proceso sean específicas en las aplicaciones marinas. Por lo tanto, gran parte de los contenidos fundamentales en teledetección terrestre, resultan marginales en la teledetección marina.

Otro rasgo diferenciador en la enseñanza de la O.S. es el de que se trata de un requerimiento universal. Esto es debido al papel central e indispensable que va a jugar la teledetección en Oceanografía en un futuro próximo, hasta tal punto que todos los oceanógrafos requerirán algún grado de conocimiento sobre el tema, de la misma manera que necesitan estar familiarizadas con los métodos de medidas *in situ* en el mar. Además, será necesario un conocimiento profundo de la O.S. por parte de aquellos oceanógrafos

dedicados a tareas de investigación en aplicaciones a meso y macroescala.

A la vista de estas particularidades y antes de plantear un programa concreto de enseñanza, creemos necesario responder a las siguientes cuestiones:

1. ¿Quién va a recibir la enseñanza y bajo qué contexto?
2. ¿Cuáles son los criterios utilizados en la elección de lo que se va a enseñar?
3. ¿Qué es lo que se va a enseñar?
4. ¿Cómo se va a enseñar?.
5. ¿Cuál es la metodología a utilizar?

A continuación trataremos de responder a estas cuestiones.

LA ENSEÑANZA DE LA OCEANOGRAFÍA POR SATÉLITE EN DIFERENTES CONTEXTOS PROFESIONALES

Los científicos que realizan investigación en O.S. pueden ser especialistas en Oceanografía o en teledetección, dependiendo de cual sea su formación básica.

Es importante darse cuenta en primer lugar, que todos los oceanógrafos necesitarán algún entrenamiento en teledetección, dada la importancia cada vez mayor de los satélites de Oceanografía. Esto es corroborado por la intención de usar la teledetección como un componente principal en experimentos oceanográficos internacionales tales como el WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*) y el JGOFS (*Joint Global Ocean Fluxes Study*)

La estrategia fundamental de estos proyectos está basada en la capacidad de obtener datos oceanográficos de forma global: en el caso de WOCE sobre la topografía superficial del océano, y sobre el color y productividad en el JGOFS. Esto significa como decíamos al principio,

que la O.S. está abriendo nuevos horizontes en las investigaciones oceanográficas. Para explotar al máximo estos recursos es fundamental entrenar a los oceanógrafos acerca de las posibilidades y limitaciones de las técnicas de teledetección. Concluimos por tanto que la Oceanografía por Satélite debería de formar parte de una educación completa en Oceanografía.

Por otra parte, además de ofrecer una enseñanza específica en teledetección a los oceanógrafos, será necesario que los especialistas en teledetección reciban enseñanzas sobre Oceanografía, ya que los procesos factibles de ser estudiados mediante satélites, no serán inteligibles sin los suficientes conocimientos de Oceanografía Física principalmente y, en menor medida, de Oceanografía Biológica, Química y Geológica.

La enseñanza de los fundamentos de Oceanografía por satélite a los oceanógrafos (categoría I), debería de proporcionar en general, una introducción a todos los aspectos de la materia, tal y como se recoge en la tabla 1. Uno de los objetivos fundamentales de este curso(s) debería ser el de fomentar la creatividad de los oceanógrafos en la aplicación de estos datos, presentando por ejemplo, las posibilidades de muestreo de los satélites en relación con las escalas espacio-temporales de los fenómenos oceanográficos.

La mayor parte del curso está dedicada a los principios, técnicas y aplicaciones de la teledetección en la medida desde el espacio de los cuatro parámetros básicos: color, temperatura, rugosidad y topografía superficial. A este nivel no se necesita una descripción sensor a sensor, sino más bien, mostrar las amplias potencialidades y limitaciones inherentes al método. También se incluye en los contenidos una introducción a la toma de datos *in situ* en relación con la validación de los datos de satélite, ya que en este caso el muestreo puede presentar sensibles diferencias con el de experimentos oceanográficos convencionales. El curso debe incluir también

información práctica acerca de cómo acceder a los datos.

En el entrenamiento más específico de los investigadores en campos particulares de la O.S. (categoría II), la formación general indicada en el párrafo anterior será un prerrequisito, que deberá complementarse con enseñanzas más profundas en determinadas áreas.

Los temas a tratar dependerán de las necesidades de investigación, las cuales dependerán a su vez, y en última instancia, de los presupuestos de los programas o agencias espaciales nacionales para el desarrollo de determinados sensores. Teniendo en cuenta los sensores transportados por el ERS-1, las necesidades de formación para los oceanógrafos europeos son: a) altimetría, b) dispersimetría, c) medidas de oleaje mediante altímetros, dispersómetros y radares de apertura sintética (SAR), d) análisis e interpretación de datos SAR de la superficie del mar y e) medidas de la temperatura superficial del mar (SST) mediante radiómetros infrarrojos.

Los contenidos de estas enseñanzas específicas deberían de incluir (tabla 1)

- a) El estudio de los procesos físicos en los que se basa el método
- b) Los procesos de corrección necesarios para la obtención de parámetros oceanográficos a partir de las magnitudes observadas por el satélite.
- c) Los procesos oceánicos que influyen sobre el método de medida.
- d) Las medidas *in situ* necesarias para la validación de los datos.
- e) La interpretación oceanográfica de los datos de satélite
- f) Consideraciones acerca de cómo los datos de satélite pueden ponerse a disposición de la mayor parte de la comunidad científica oceanográfica.

Para los científicos procedentes de otros campos de la teledetección o incluso del procesa-

Tabla 1 **Contenidos básicos en Oceanografía por Satélite**

1. Introducción	<ul style="list-style-type: none"> - Relevancia - Breve historia de su desarrollo
2. Fundamento de la O.S	<ul style="list-style-type: none"> - Física básica. <ul style="list-style-type: none"> Espectro EM Emisión y absorción Efectos atmosféricos - Sensores <ul style="list-style-type: none"> Oceangráficos Activos y pasivos Resolución - Satélites <ul style="list-style-type: none"> Teoría orbital simple Ciclos repetitivos Muestreo general - Ejemplos de sensores y características de muestreo espacio-temporal.
3. Oceanografía relevante en Teledetección	<ul style="list-style-type: none"> - Escala espacial y temporal de los procesos oceánicos. - Parámetros oceanográficos medibles directamente desde el espacio. - Parámetros determinados de forma indirecta. - Contribuciones de la Teledetección a la Oceanografía.
4. Color del océano	<ul style="list-style-type: none"> - Metodología y procesos básicos de medida. - Ejemplos de sensores/satélites - Correcciones y procesos de datos - Aplicaciones oceanográficas: principios y ejemplos
5. Temperatura superficial del mar	<ul style="list-style-type: none"> - Subsecciones como en 4
6. Rugosidad superficial del mar	<ul style="list-style-type: none"> - Subsecciones como en 4
7. Topografía superficial del mar	<ul style="list-style-type: none"> - Subsecciones como en 4
8. Validación y calibración	<ul style="list-style-type: none"> - Principios de los experimentos de validación - Instrumentación para medidas <i>in situ</i> - Ejemplos
9. Distribución de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Centros de datos
10. Perspectivas futuras	<ul style="list-style-type: none"> - Programas especiales - Programas oceánicos globales.

miento de imágenes (categoría III), está claro que se debe de hacer énfasis en la enseñanza de la Oceanografía Física, lo que les ayudará a situarse en el contexto y a comunicarse con los oceanógrafos. Deberá de incluirse además el programa propuesto para los oceanógrafos, haciendo énfasis probablemente en los aspectos c) y f).

Por último, para aquellos especialistas que trabajen en sectores comerciales relacionados con el mar, las enseñanzas deberían de ser similares a las de los científicos de la categoría II, con objeto de que los científicos, ingenieros y consultores pueden contribuir al desarrollo y validación de los algoritmos y productos demandados

por la industria, sectores comerciales y de protección del medio ambiente, entre otros. Es de suponer que la disponibilidad de tales productos estimulará el crecimiento de las industrias de «valor añadido». Cuando en los próximos años se disponga de medidas operacionales (con una continuidad asegurada en el futuro) de los parámetros medibles desde el espacio, será necesario también formar a los responsables de las predicciones de oleaje, vigilancia de los vertidos costeros y ayudas en las pesquerías, entre otros.

MÉTODOS DOCENTES

Una vez que hemos expuesto las necesidades de formación en O.S. en función de la procedencia o ámbito de ubicación de los científicos o expertos, la próxima pregunta a responder es: ¿cómo deben de realizarse las enseñanzas?.

Puesto que la enseñanza de la O.S. a nivel general debería de estar presente en los currícula de los oceanógrafos, ya hemos comentado que debería de formar parte de los planes de estudios en los niveles de segundo y tercer ciclo de las enseñanzas universitarias. Para cubrir los contenidos indicados en la tabla 1, se necesitan al menos unas 40 horas de clases teóricas y otro tanto de clases prácticas en las que el alumno se familiarice con el manejo de datos reales. La parte dedicada a las técnicas de toma de datos *in situ* podría formar parte de otras materias específicas (Oceanografías Descriptiva y Física y Técnicas Instrumentales, en el caso de Ciencias del Mar). Sería interesante también la realización de un proyecto final que incluyese el uso de datos de satélite. Esta materia se presta de forma especial a la realización de tales proyectos.

Para los científicos pertenecientes a las categorías II y III, se debe de modificar la estructura de enseñanza anterior, ya que las necesidades de formación son mucho más específicas en estos

grupos. En estos casos pueden ser suficientes cursos de 2 a 3 semanas de duración, impartidos, cuando sea necesario, por más de un especialista. La enseñanza a este nivel puede ser más flexible, aumentando el «aprendizaje a distancia» debidamente dirigido por los tutores.

LA OCEANOGRAFÍA POR SATÉLITE EN LA LICENCIATURA DE CIENCIAS DEL MAR

La Licenciatura en Ciencias del Mar es una joven carrera que comenzó a impartirse en España en el año 1982. En dicha Licenciatura se estudia el océano desde un punto de vista multidisciplinar (Físico, Químico, Biológico y Geológico). En este caso los criterios a tener en cuenta para elaborar el programa a impartir a los estudiantes de Ciencias del Mar deberían de ser los siguientes:

1. El contexto docente del plan específico de la Facultad.
2. Objetivos a conseguir en los alumnos:
 - Darles a conocer los principios de interacción de la radiación electromagnética con la atmósfera y el océano, en el rango de frecuencias que abarca desde las ondas de radio a la luz.
 - Describir las técnicas que permiten la obtención de parámetros oceanográficos a partir de las citadas interacciones.
 - Describir los instrumentos y sistemas principales operativos en la actualidad y en un futuro próximo.
 - Examinar la precisión de las medidas obtenidas.

Uno de los objetivos más importantes de esta materia consiste en mostrar a los alumnos tanto las ventajas como las limitaciones de la observación de los océanos desde el espacio, familiarizándolos con las características de las observa-

ciones globales y sinópticas proporcionadas por los satélites, intentando que realicen un uso imaginativo y cuantitativo de la información, a pesar del valor fundamentalmente descriptivo de algunos productos.

Enseñar a los alumnos la forma de integrar los datos de satélite en proyectos de investigación multidisciplinares, bajo una triple perspectiva:

a) Como apoyo y complemento de los datos y medidas *in situ*

b) Para la localización de las zonas de interés en un momento dado (localización de estructuras oceanográficas en tiempo real), con objeto de dirigir hacia dichos lugares a los barcos de investigación, o de situar determinados instrumentos anclados (correntímetros, mareógrafos) o a la deriva.

c) Para la realización de estudios independientes basados únicamente en los datos de satélite.

3. Al ser una materia de un posible segundo ciclo, el alumno de Ciencias del mar llega a ella después de haber cursado las materias de Oceanografía (Descriptiva y Física). Esta sección está dedicada a posibles estudiantes sin formación previa en Oceanografía (fig. 1).

4. En ningún caso se requieren conocimientos o herramientas matemáticas no complementados en las enseñanzas actuales.

5. Tal vez sean las secciones III (Radiación Electromagnética. Interacciones) y V (Análisis Digital de Imágenes) las menos familiares para un alumno de Ciencias del Mar. En la sección III será conveniente presentar los fundamentos físicos de las interacciones y las expresiones finales que rigen dichas interacciones, sin realizar los desarrollos intermedios, que pueden llegar a ser complejos en algunas ocasiones. En cuanto al análisis de imágenes, es importante que el alumno conozca los fundamentos de los métodos de proceso, pero sin entrar en detalles acerca de su implementación algorítmica, ya que normalmen-

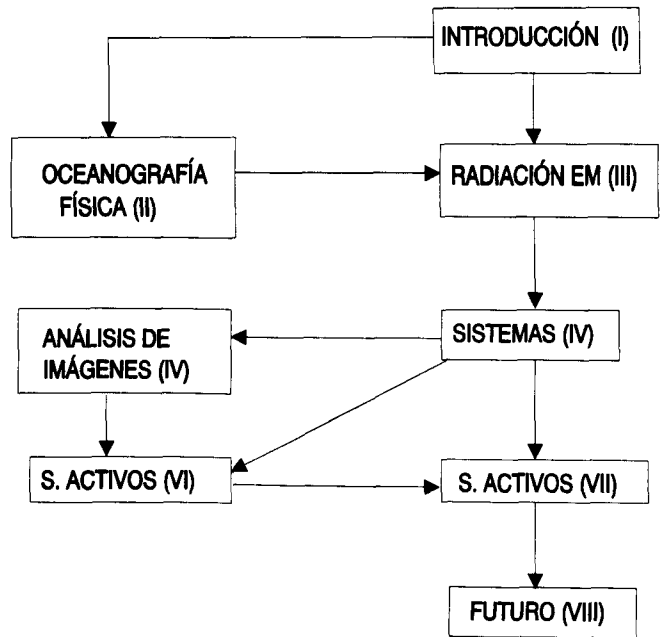


Figura 1. Secciones y posibles desarrollos del programa.

te trabajará con «paquetes» de software de proceso. En este caso es de vital importancia que el alumno conozca qué es lo que realiza determinada aplicación o programa al aplicarlo a los datos originales, con objeto de que el resultado siga poseyendo significación oceanográfica y no sea un producto de los programas de proceso.

6. En este contexto, el núcleo principal de la asignatura lo constituyen las secciones VI y VII del programa. Ambas se pueden impartir de forma independiente. Se presentarán los principios físicos de funcionamiento de sensores característicos, las aplicaciones oceanográficas desarrolladas hasta el momento y las perspectivas y aplicaciones potenciales a corto y medio plazo.

7. La enseñanza de esta materia debe contar con un gran contenido práctico. Existen paquetes de software desarrollados por diversas instituciones internacionales que permiten la realización de prácticas de teledetección con sólo disponer de un PC.

Teniendo en cuenta estos criterios, un esquema de programa modular y flexible a impartir en

Ciencias del mar en general, ó en contextos diferentes en casos particulares, podría ser el que se propone en la figura 1, con diferentes posibilidades de desarrollo en función del bagaje, conocimientos, tiempo disponible y objetivos a conseguir en los alumnos.

REFERENCIAS

Allan, T.D. (Ed) (1983): *Satellite Microwave Remote Sensing*, New York, John Wiley.

Cantón Garbín, M. (1991): *Oceanografía por Satélite*, Memoria de Cátedra, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Gower, J.F.R. (1986): *Opportunities and problems in satellite measurements of the sea*, UNESCO Technical papers in Marine Science, 46.

Robinson, I.S. (1985): *Satellite Oceanography*, New York, John Wiley.

Robinson, I.S. (1988):» Education and training for marine science applications of remote sensing», *International Journal of Remote Sensing*, vol 9, 1847-1857.

Saltaman, B. (1985): *Satellite Oceanic Remote Sensing*, Academic Press.

Savigear, R.A.G. (1981):» Education and training in Remote Sensing», en Cracknell, A.P. (Ed.), *Remote Sensing in Meteorology, Oceanography and Hydrology*, Ellis Horwood, 20-26.

Stewart, R.H. (1985): *Methods of Satellite Oceanography*, University of California Press.

UNESCO (1974): *Marine Science Teaching at University Level*, UNESCO Technical papers in Marine Science.

UNESCO (1988): *Year 2000 challenges for marine science training and education worldwide*, UNESCO Technical Papers in Marine Science.