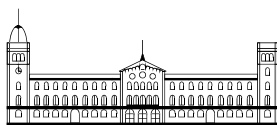




2007

**"SITUACIONS D'ANÒXIA EN ZONES ESTUÀRIQUES
SENSE FORÇAMENT MAREAL:
una aproximació als balanços producció/consum d'oxigen"**

Tesi doctoral
Xavier de Pedro Puente



TESI DOCTORAL

DEPARTAMENT D'ECOLOGIA –FACULTAT DE BIOLOGIA

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Programa de Doctorat: Ecologia. Bienni: 1996-1998.

"SITUACIONS D'ANÒXIA EN ZONES ESTUÀRIQUES SENSE FORÇAMENT MAREAL: una aproximació als balanços producció/consum d'oxigen"

Memòria presentada per Xavier de Pedro Puente per optar al títol de doctor per la Universitat de Barcelona, sota la direcció del Dr. Javier Romero Martinengo i del Dr. Jordi Camp Sancho.

Dr. Javier Romero Martinengo
Departament d'Ecologia
Facultat de Biologia
Universitat de Barcelona

Dr. Jordi Camp Sancho
Institut de Ciències del Mar.
Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i
Ambientals, CMIMA-CSIC.
Barcelona

Xavier de Pedro Puente
Barcelona, 25 de setembre de 2007



Annexos

**Annex A. Conseqüències de les davallades
d'oxigen**

Annex A. Conseqüències de les davallades d'oxigen

Tal i com s'ha citat a la introducció de la tesi, les davallades d'oxigen dissolt dels sistemes marins costaners porten associades conseqüències a molts nivells, tant ecològics (es comenten primer) com econòmics (es comenten breument al final).

Conseqüències sobre les característiques físico-químiques de l'aigua

Les davallades d'oxigen dissolt fan baixar els potencials redox amb el que es preserva més la matèria orgànica en ambients anòxics, especialment en sediments. A més, sol haver majors concentracions de nutrients, especialment en la forma reduïda com NH_4^+ per les espècies de nitrogen; el pH i l'alcalinitat són més alts. També es solen alterar els estats d'oxidació d'ions metàl·lics, i sol existir precipitació de sulfurs, que són tòxics (Richards 1965). Existeix un fraccionament d'isòtops de nitrogen durant el procés anòxic (Richards i Benson 1961). Es va observar que hi havia una major taxa de $^{15}\text{N}^{14}\text{N}$ respecte $^{14}\text{N}_2$ a les aigües anòxiques del canó submergit de Cariaco (Costa Caribenya de Veneçuela) i Damsfjord (Noruega) que en el nitrogen atmosfèric o que en el nitrogen contingut en aigua de mar portadora d'oxigen en concentracions més properes a saturació.

Conseqüències sobre la biogeoquímica del sediment

Un augment de la deposició orgànica i de la hipòxia en la part inferior de la columna d'aigua pot generar els següents d'efectes en els sediments (Jørgensen i Richardson 1996):

- desplaçament en l'equilibri d'oxidants cap a mineralització anaeròbica i reducció del sulfat,
- activitat reduïda de la fauna bentònica i un canvi cap a major limitació de la difusió de fluxos de soluts, en general.
- acumulació de sulfurs metàl·lics i de H_2S en aigua intersticial,
- inhibició de la nitrificació i alliberament preferent d'amoni.
- alliberament de fòsfor lligat a Fe(III) a la columna d'aigua.
- alliberament d' H_2S en cas d'esgotament sever d'oxigen,
- major enterrament de carboni i nitrogen orgànics al sediment.

Per altra banda, també s'ha descrit que poden existir altres relacions més complexes entre davallades d'oxigen i la biogeoquímica del sediment, a través del canvi en el comportament d'alguns organismes del sediment. Un exemple d'aquestes interaccions complexes descriu que hipòxia o anòxia prolongades permet a bacteris sulfato-reductors (que normalment es troben més profunds en sediments durant normòxia) de sobreviure en la superfície on poden produir concentracions de sulfhídric potencialment letals (Jørgensen 1980, Bagarinao 1992) i alterar altres cicles geoquímics.

Conseqüències sobre els organismes i l'estructura de la comunitat

Tot un ventall ben ampli de conseqüències sobre els organismes marins s'han descrit a la literatura: mortalitats massives d'animals (Brongersma-Sanders 1957, Richards 1965, Niermann 1990); canvis fisiològics (Mangum i van Winkle 1973, Butler *et al.* 1978, Kapper i Stickle 1987, Herreid 1980, Warren 1984, Diaz i Rosenberg 1995); canvis en la reproducció (Brungs 1971, Rombough 1988); canvis en el comportament (Hagerman i Szaniawska 1986, Kramer 1987); reducció de la mida mitja dels individus (Weigelt 1991)

S'ha descrit també disminució en biomassa, abundància i diversitat d'espècies en ecosistemes del Mar del Nord, el Kattegat i el Mar Bàltic degudes a hipòxia i anòxia (Weigelt i Rumohr 1986, Westernhagen *et al.* 1986, Rosenberg i Loo 1988, Andersin *et al.* 1990, Niermann *et al.* 1990, Josefson i Jensen 1992, Rosenberg *et al.* 1992). Per altra banda és d'esperar una selecció d'espècies resistents a la deficiència d'oxigen dissolt, com s'ha pogut comprovar al llarg del segle XX a Dinamarca (Leonhard i Varming 1992).

Conseqüències sobre els fluxos d'energia

L'altre conseqüència ecològica en els sistemes estressats per l'oxigen que afecta als fluxos d'energia en l'ecosistema és que el cicle de nutrients i les transferències d'energia esdevenen a polsos. Abans de la hipòxia la principal força creadora de polsos en aquests sistemes era l'estacionalitat, però amb la hipòxia incrementa la magnitud del pols i s'escurça l'interval de temps en el que succeeix. A més, l'organització de la comunitat durant períodes d'estrès tendeix a disminuir o es retorna a un estadi anterior pioner de la successió ecològica (Pearson i Rosenberg 1978, Josefson i Jensen 1992, Pearson i Rosenberg 1992).

Habitats estressats per baixes concentracions d'oxigen de forma periòdica o estacional afavoreixen genotips que maximitzen flux d'energia a creixement i reproducció, limitant pèrdues d'energia al manteniment o tolerància a llarg termini de l'estrès (Odum 1971).

Conseqüències sobre la successió ecològica

Diaz i Rosenberg (1995) van formular un model conceptual sobre com interacciona la hipòxia amb els estats de successió de la comunitat o la complexitat de la organització. Segons aquest model (Figura 0.1) les comunitats dels sistemes que comencen a experimentar hipòxia aperiòdica no estan acostumades a baixes concentracions d'oxigen, pel que la mortalitat d'individus i l'eliminació d'espècies és important, especialment en estadis avançats de la successió ecològica. Les hipòxies aperiòdiques són precursoras del desenvolupament de comunitats resistents a la hipòxia.

Quan el sistema experimenta hipòxies periòdiques o estacionals, les comunitats han efectuat la majoria dels seus canvis estructurals i d'organització. Les comunitats que es troben en sistemes que presenten hipòxies periòdiques (períodes de dies a setmanes repetits) ja es troben preadaptades a

l'estrès i mostren petits canvis durant o just després successos hipòxics. Amb hipòxia estacional de mesos de durada, malgrat la preadaptació, les mortalitats massives ocorren sovint amb la quasi completa eliminació de la macrofauna en les comunitats en tots els estadis de successió.

Els sistemes amb hipòxia persistent són ocupats només per comunitats d'estadis primerencs de la successió. La diversitat, abundància i biomassa d'aquestes comunitats decreix al llarg de gradients estables d'hipòxia creixent fins al punt d'anòxia estable persistent, que es caracteritza per l'absència de macrofauna.

Les hipòxies severes de llarga durada o persistents i les anòxies indueixen un creixement retardat i poc èxit reproductiu, generant fallides de recolonització i habitats que són mancats de macrofauna. Excepcions a això són entre altres les àrees altament eutròfiques on hi ha de manera accessible abundant quantitat de matèria orgànica làbil. Aquesta combinació d'hipòxia i matèria orgànica crea un habitat extrem únic en els habitats marins i estuaris que manté una comunitat de baixa diversitat i flux alt d'energia.

No existeix macrofauna en ambients persistentment anòxics. Per hipòxies severes o anòxies sembla no existir mecanismes de supervivència a llarg termini. Malgrat algunes espècies semblen exhibir tolerància a l'anòxia a llarg termini, no arriben a completar el seu cicle de vida en ambients severament hipòxics o anòxics.

Conseqüències econòmiques

Des de l'òptica merament econòmica a curt termini, es pot comentar que les poblacions d'algunes espècies d'interès comercial, com per exemple la llagosta a Noruega, s'han vist molt reduïdes per efecte de les hipòxies (Rosenberg *et al.* 1992). De forma general, podem dir que es veuen afectades totes aquelles espècies d'interès comercial que són sensibles a les davallades en les concentracions d'oxigen dissolt, pel que els pescadors deixen de trobar poblacions prou abundants per a compensar les despeses econòmiques que comporta aquesta explotació dels recursos pesquers.

Bibliografia

- Andersin, A. B., *et al.*, 1990. Zoobenthos. *Second periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, 1984-1988, Background document*, 35B: 211-275.
- Bagarinao, T., 1992. Sulfide as an environmental factor and toxicant: tolerance and adaptations in aquatic organisms. *Aquatic Toxicology*, 24 21-62.
- Brongersma-Sanders, M., 1957. "Mass mortality in the sea", a *Treatise on marine ecology and paleoecology*, 1, 941-1010. Waverly Press, Baltimore.
- Brungs, W. A., 1971. The distribution of the Galatheid crab *Munida quadrispina* (Benedict 19202) in relation to oxygen concentrations in British Columbia fjords. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 81 1-20.
- Butler, P. J., *et al.*, 1978. Respiratory and circulatory changes in the lobster (*Homarus vulgaris*) during long term exposure to moderate hypoxia. *J. Exp. Biol.*, 73 131-146.
- Diaz, R. J. i Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 33 245-303.
- Hagerman, L. i Szaniawska, A., 1986. Behaviour, tolerance, and anaerobic metabolism under hypoxia in the brackish-water shrimp *Crangon crangon*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 34 125-132.
- Herreid, C. F., 1980. Hypoxia in invertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 67A 311-320.
- Jørgensen, B. B., 1980. Seasonal oxygen depletion of in the bottom waters of a Danish fjord and its effects on the benthic community. *Oikos*, 34 68-76.
- Jørgensen, B. B. i Richardson, K., 1996. Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems. *Coastal and Estuarine Studies*, 52: 273.
- Josefson, A. B. i Jensen, J. N., 1992. "Effects of hypoxia on soft-sediment macrobenthos in southern Kattegat", a *Marine Eutrophication and Population Dynamics*, 21-28. Olsen & Olsen, Fredesborg, Denmark.
- Kapper, M. A. i Stickle, W. B., 1987. Metabolic responses of the estuarine gastropod *Thais haemastoma* to hypoxia. *Physiol. Zool.*, 60 159-173.

- Kramer, D. L., 1987. Dissolved oxygen and fish behavior. *Environ. Biol. Fish.*, 18 81-92.
- Leonhard, S. i Varming, S., 1992. Bundfauna i Lillebælt 1911-1990. *Lillebæltsamarbejdet*: 185.
- Mangum, C. i van Winkle, W., 1973. Responses of aquatic invertebrates to declining oxygen tensions. *American Zoologist*, 13 529-541.
- Niermann, U., 1990. Oxygen deficiency in the southeastern North Sea in summer 1989:
- Niermann, U., *et al.*, 1990. The recovery of benthos following the impact of low oxygen content in the German Bight. *Neth. J. Sea Res.*, 25 (1-2): 215-226.
- Odum, H. T., 1971. Environment, power, and society:
- Pearson, T. H. i Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 16 229-311.
- Pearson, T. H. i Rosenberg, R., 1992. Energy flow through the SE Kattegat: a comparative examination of the eutrophication of a coastal marine ecosystem. *Netherlands Journal of Sea Research*, 28 317-334.
- Richards, F. A., 1965. "Anoxic Basins and Fjords", a *Chemical Oceanography*, 1, 611-645. Academic Press, London.
- Richards, F. A. i Benson, B. B., 1961. *Deep Sea Res.*, 7 254.
- Rombough, P. J., 1988. "Respiratory gas exchange, aerobic metabolism, and effects of hypoxia during early life", a *The physiology of developing fish*, XI, 59-161. Academic Press, San Diego.
- Rosenberg, R. i Loo, L. O., 1988. Marine eutrophication induced oxygen deficiency: Effects on soft bottom fauna, western Sweden. *Ophelia*, 29 (3): 213-225.
- Rosenberg, R., *et al.*, 1992. Hypoxia, salinity and temperature as structuring factors for marine benthic communities in a eutrophic area. *Netherlands Journal of Sea Research*, 30 121-129.
- Warren, L. M., 1984. How intertidal polychaetes survive at low tide. *First International Polychaete Conference*: 238-253.

Weigelt, M., 1991. Short- and long-term changes in the benthic community of the deeper parts of Kiel Bay (Western Baltic) due to oxygen depletion and eutrophication. *Meeresforsch*, 33 197-224.

Weigelt, M. i Rumohr, H., 1986. Effects of wide-range oxygen depletion on benthic fauna and demersal fish in Kiel Bay 1981-1983. *Meeresforsch*, 31 (2): 124-136.

Westernhagen, H. V., *et al.*, 1986. Sources and effects of oxygen deficiencies in the south-eastern North Sea. *Ophelia*, 26 457-473.

**Annex B. Badies i estuaris d'arreu del Món,
comentats al llarg de la tesi doctoral**

Annex B. Badies i estuaris d'arreu del Món, comentats al llarg de la tesi doctoral

La importància relativa de la marea, l'estratificació, els fluxos d'aigua dolça entrants, l'evapotranspiració, etc., varia en cada cas de sistema, pel que es comenten tot seguit algunes de les peculiaritats de cadascun d'ells a partir del que s'ha pogut trobar a la literatura científica recent.

Skagerrak, Kattegat, Mar de Belt i Mar Bàltic (Nord d'Europa)

Aquí trobem varis sistemes marins costaners que periòdicament poden presentar problemes de manca d'oxigen dissolt (Figura B.1). El Bàltic és un cos d'aigua tancat, i el Mar de Belt, el Kattegat i l'Skagerrak poden ser considerats com la seva extensió de sortida cap al Mar del Nord. Tant en Bàltic com en el Kattegat en general el flux mareal és negligible i l'aigua es troba verticalment estratificada per forts gradients de salinitat, tenint un intercanvi d'aigua a prop del fons molt reduït (Rosenberg 1985). Al SE del Kattegat, per exemple, la salinitat superficial varia de 15 a 30 psu (de Sud a Nord). L'aigua de fons entra pel Nord com aigua d'Skagerrak de 32-34 psu. L'haloclina es situa cap als 15 m de fondària, malgrat la seva posició no és fixa degut al flux variant del Bàltic i a vents locals. La barreja vertical està governada per l'acció del vent, oscil·lant entre velocitats de 0.25 m d-1 de mitjana i 0.1 m d-1 de mínima estival (Rydberg *et al.* 1990). La badia de Laholm i la badia d'Århus són dues badies de fondària similar en aquesta àrea, la primera en la costa sueca, i la segona en la danesa.

Badia d'Århus

Inclusa en l'àrea del Kattegat (Figura B.1), té prop de 20 m de fondària màxima i 0.4 m de rang mareal (Jørgensen i Richardson 1996). Presenta diferències de salinitat entre superfície i fons entre 10 psu a primavera com a valor màxim i 5 psu a l'estiu. Aquestes diferències són a causa de les aigües estivals profundes de salinitat molt elevada que procedeixen de d'aigua del Mar del Nord de 32 psu (que per al mar del Nord i l'àrea de l'Skagerrak són valors molt alts dins el seu rang de salinitats).

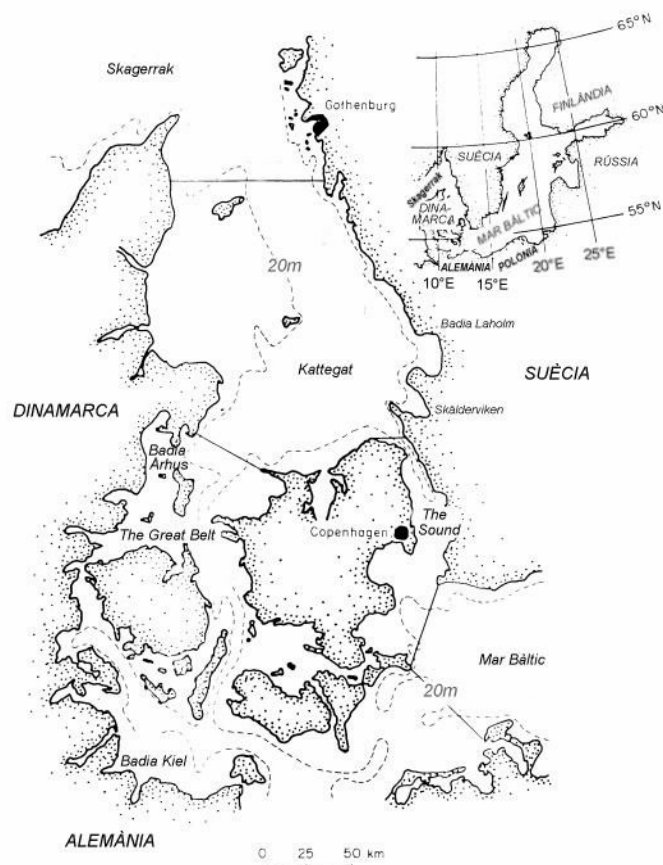


Figura B.1 Localització de Skagerrak, Kattegat, Mar de Belt i Mar Bàltic, Europa del Nord (a partir de Anderson i Rydberg 1988).

Fiords

Els Fiords són intrusions oceàniques a terra a causa de l'acció geològica de glaceres sobre el marge continental costaner, i representen un tipus especial d'estuaris, independentment de si són micromareals o no (Figura 1.1). La majoria es troben a latituds altes: a l'Hemisferi Nord per sobre dels 50 N a Canadà, EUA, Groenlàndia, Escandinàvia, Escòcia i Svalbard; per sota dels 40 S, a Perú, Xile i Nova Zelanda.

Els Fiords de la Península Escandinava (especialment els de la costa de Noruega) són profunds, amb fondàries màximes de diversos centenars de metres, amb una precipitació anual aproximada entre 1100mm i 2200 mm als de la costa de Noruega (que rep la influència del corrent marí del Golf de Mèxic), però força inferior als de Suècia i Finlàndia (500-600 mm a⁻¹). S'ha demostrat que l'estrès del vent és un factor important de forçament hidrodinàmic en aquests fiords (Leth 1995). Un exemple és el fiord de Trondheim, situat a la part central de Noruega (Figura B.2), amb 135 km de llarg, fondàries mitjana i màxima de 195 m i 617 m, respectivament, i la del ressalt d'entrada, a 195 m (Sakshaug i Myklestad 1973). El fiord de Trondheim es comporta com un estuari macromareal, amb una amplitud mareal de 1.8 m que causa una intensa barreja de les aigües dolces i salades, essent la capa superficial de

sortida d'entre 5 i 15 m de gruix i entre 25 i 33 psu de salinitat, compensada per un corrent inferior d'entre 30 i 100 m (Jacobson 1983).

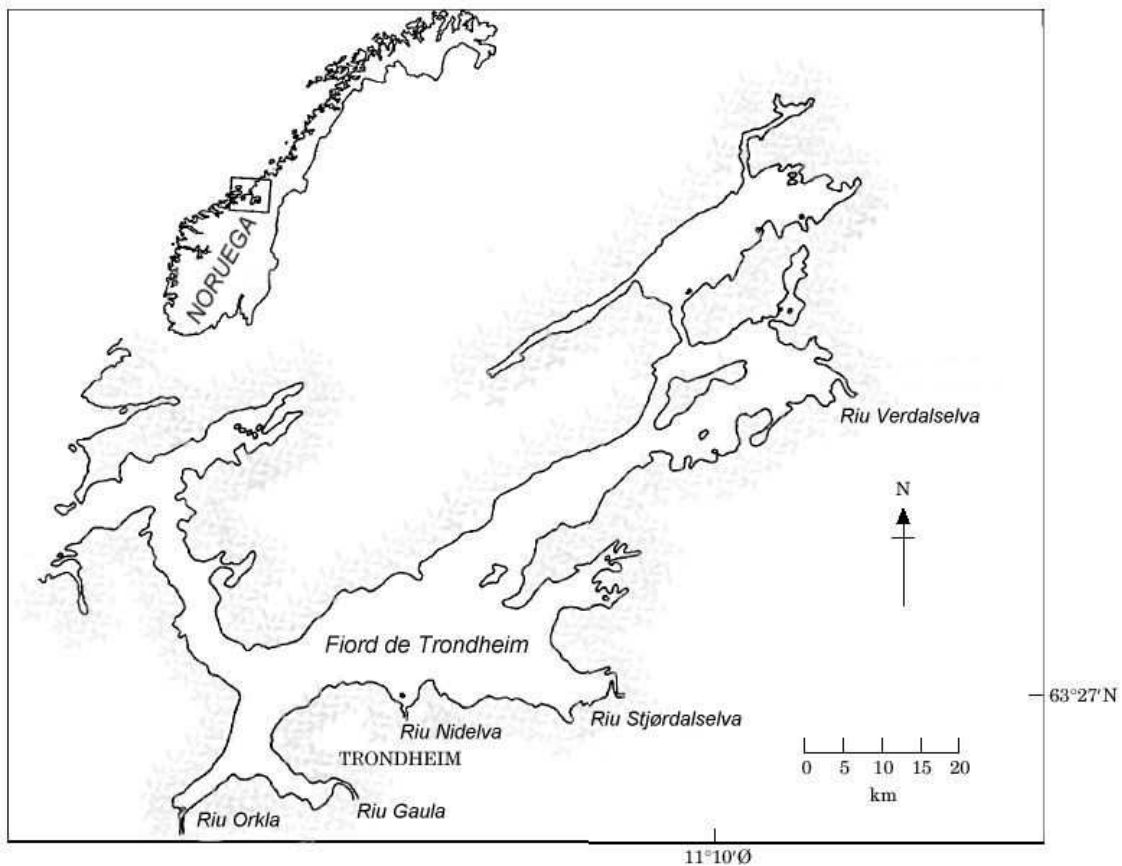


Figura B.2. Localització del fiord de Trondheim, a la part central de Noruega (a partir de Öztürk *et al.* 2002)

Un altre cas de fiord ben documentat recentment, i lleugerament diferent dels fiords escandinaus, és el Doubtful Sound, a la costa est de Nova-Zelanda (Figura B.3). És el més profund dels fiords de l'illa, amb 200 m de fondària mitjana, 434 m de fondària màxima i 6750 mm de precipitació anual (Stanton i Pickard 1981). La característica notable d'aquest sistema costaner és l'acoblament entre el la seva circulació hidrodinàmica en els seus primers 10 m de fondària superficials (que funcionen com a estuari bicapa amb la picnoclina al voltant dels 4 m) i el doble efecte de les entrades d'aigua dolça i els temporals de vent (Gibbs *et al.* 2000). El fiord Doubtful Sound rep de l'ordre de $450 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de forma constant d'una planta hidroelèctrica per un costat, que és de l'ordre de dos a tres vegades més que els aportats per escorrentia superficial de la conca, pel que l'aigua de la planta hidroelèctrica és la principal responsable del manteniment de l'estratificació de la bicapa superior. La resposta de la capa intermitja del fiord als vents i pluja és menys evident, malgrat s'ha demostrat que en els períodes de forts temporals la hi afecten significativament malgrat sovint promovent flux net d'aigua en sentits oposats. Els vents bufen quasi exclusivament al llarg de l'eix Oest-Est del fiord condicionats per l'orografia local, amb el que el seu efecte és d'erosionar l'estratificació vertical, redistribuir lateralment el flux de flotabilitat (per diferències de densitat) i d'empènyer l'aigua terra endins en termes absoluts.

Les pluges que porten associades generalment els mateixos temporals de vent generen un gradient de densitat longitudinal que potencia la circulació neta en sentit oposat al del vent.

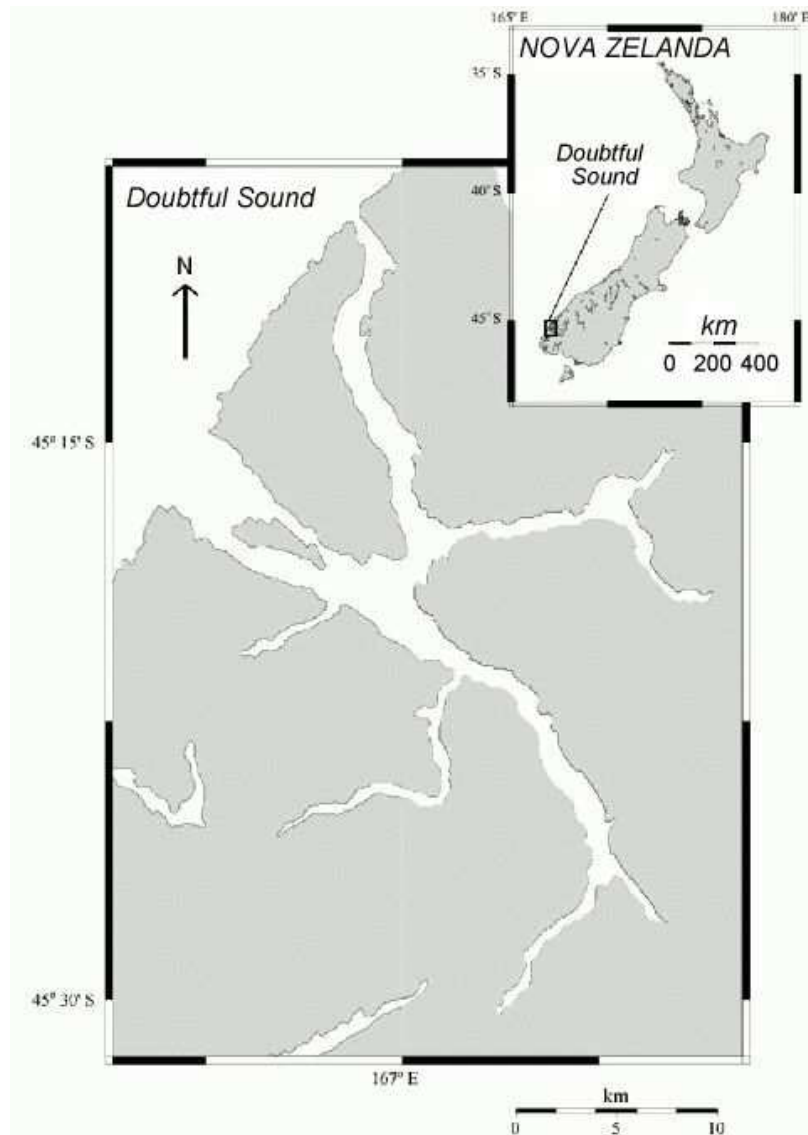


Figura B.3. Localització del fiord Doubtful Sound, Nova Zelanda (a partir de Lusseau *et al.* 2003)

Badia de Chesapeake i els seus subestuaris

La Badia de Chesapeake (Virginia, EUA) és l'estuari més gran dels EUA (Figura B.4) amb més de 150 rius que hi desemboquen i un dels més estudiats del món, en el que des de fa dècades estan seguint l'evolució de la dinàmica de la seva concentració d'oxigen dissolt. S'ha descrit per exemple que des dels anys 50 la seva hipòxia està més relacionada amb els cabals d'entrada d'aigua dolça que amb cap efecte antropogènic específic, a causa del seu doble efecte sobre la càrrega de nutrients que hi transporta i a que els augments d'entrada d'aigua dolça a l'estuari suposen un increment de l'estratificació i per tant una reducció de l'intercanvi vertical d'oxigen. En els tres subestuaris més propers a mar obert (els dels rius Rappahannock, York i James) es van trobar valors de concentració d'oxigen inferior al 50% de saturació durant el 75%, 50% i 2% de les campanyes en que la temperatura de l'aigua era superior als 20 C. (Kuo i Neilson 1987). El cas d'aquest últim estuari

afluent a la badia de Chesapeake mereix especial atenció, atès que malgrat ser el que té una major entrada d'aigües residuals també és el que presenta un major moviment de les aigües de fons. En un estudi sobre l'evolució al llarg de 8 anys de 28 variables relacionades amb la qualitat de l'aigua a la Badia de Chesapeake es va trobar que el 80% de les variables analitzades en els estuaris afluents i prop del 50 % de les del curs principal de la Badia mostraven relacions significatives amb el flux d'aigua (Alden III 1997). Aquestes relacions explicaven fins el 55% de la variància total trobada en el conjunt dels 8 anys per algunes de les variables dels estuaris afluents. En aquest estudi va ressaltar que l'estuari del Riu James, que té el flux d'aigua més important de tots tres, té el major percentatge de variables que manifesten estar estadísticament relacionades amb el flux d'aigua.

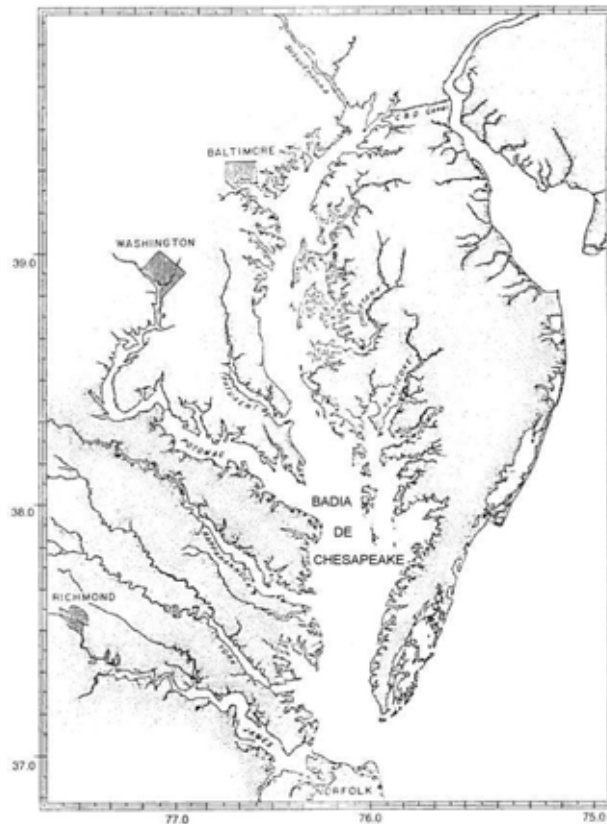


Figura B.4 Localització de la badia de Chesapeake i dels seus estuaris, Virginia, EUA (a partir de Harding 1994).

Estuari del Riu James (Virginia, EUA)

Té 12m de fondària màxima al canal principal, i la dels marges laterals és de l'ordre de 4m. A nivell hidrodinàmic, existeix un control dual del flux net horitzontal (flux submareal) per part del seu component barotròpic i del seu component baroclínic. El component del flux submareal induït per la marea (component mareal o barotròpic) provoca el moviment net de l'aigua en direcció de terra cap al mar en el canal principal de l'estuari i en sentit de mar cap a terra per les vores someres. I l'intercanvi hídric induït per densitat (component de densitat o baroclínic) provoca moviment net d'aigua en sentit

contrari al del flux barotròpic: de mar cap a terra en el canal principal i de terra cap a mar per les vores someres. És a dir, que el component de mareal i el component de densitat del flux net horitzontal competeixen entre si en sentit oposat. Durant marees màximes ("spring tides") el component mareal (barotròpic) del flux net horitzontal i la seva barreja vertical superen l'estratificació per densitat provocada per les descàrregues d'aigua dolça i per tant el seu flux per densitat (baroclínic) associat. Ara bé, durant les marees mínimes ("neap tides") el component mareal (barotròpic) del flux net horitzontal i la seva barreja vertical són febles i per tant és el component baroclínic del flux el que predomina i supera amb escreix al produït per la marea (Li *et al.* 1998).

Badia de Tomales (Califòrnia, EUA)

És una badia estuariana mediterrània somera de prop de 20 km de llarg, 1.4 km d'ample, 3.1 i 6 m de fondàries mitjana i màxima i comunica amb el Pacífic a través d'una petita obertura a la barra de sorra que la separa de l'oceà (Figura B.5). Aquesta barra de sorra és conseqüència de períodes llargs sense flux del riu. La forma allargada i estreta de la badia permet que es pugui simplificar l'estudi del seu flux d'aigua al de la seva component al llarg de l'eix principal, i en alguns models descriptius de l'ecosistema s'ignoren els fluxos laterals i l'efecte del vent sobre la hidrodinàmica (Hearn i Largier 1997). La circulació de la Badia de Tomales és controlada fonamentalment pel transport horitzontal a través de la badia interior. L'aigua dolça entra per la capçalera de la badia interior en major part i lateralment per la badia exterior, significant a l'hivern entre l'1% i el 18% del total del volum d'aigua de la badia interior, però en general s'accepta que en aquesta estació climatològica la circulació ve determinada pel flux del riu. A l'estiu les entrades pel riu són dos ordres de magnitud inferiors (ó 0.3 mm d-1 promitjat per a l'àrea de la badia interna). L'evaporació neta domina el període estival amb un 5% del volum de la badia interior, o sobre 1 mm d-1. Això produiria un increment de salinitat de l'ordre de 0.01 per cada dia que una porció de la columna d'aigua es trobés barrejada a la badia. És a dir que en aquesta altra estació climatològica la circulació ve determinada en primer grau per gradients de densitat a causa d'hipersalinitat, parcialment compensats per l'escalfament, i juntament amb el "flux de flotabilitat" controlen la dinàmica estuariana durant aquest període deficitari d'aports nets d'aigua dolça. Per últim, dir que el corrent mareal màxim arriba a 20 cm s-1 en el canal principal de la badia però molt inferiors en la resta de l'estuari: les marees són barrejades, amb un rang mitjà d'1m (Hearn 1998).

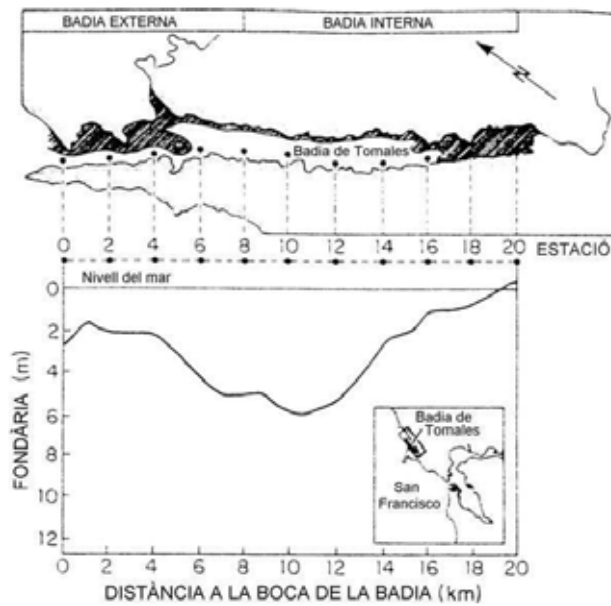


Figura B.5 Localització de la badia de Tomales, Califòrnia, EUA (a partir de Smith i Hollibaugh 1997).

Badia de San Francisco

És una badia micromareal de clima mediterrani a la zona de Califòrnia, EUA, d'uns 40*10km de superfície, dividida en la badia Nord i la badia Sud pel canal de sortida a mar obert sota el famós Golden Gate.

Badia de Tampa (Florida, EUA)

Situada a la costa central oest de Florida (Figura B.6), amb mitjanes de salinitat anuals típicament amb valors entre 30 i 32 psu, i de temperatura, entre 15 i 34 °C (Bell 1999). La badia ocupa 5700 Km², té una fondària mitjana de 3.5 m (Lewis *et al.* 1998), i és un altre dels llocs de referència d'estudis de qualitat de l'aigua, on l'eutrofització ha esdevingut un problema prioritari a resoldre (Wang *et al.* 1999), que ja ha influït en la regressió de les praderies de *Zostera marina* com a resultat de l'elevada concentració de fitoplàncton i terbolesa de la columna d'aigua (Morrison *et al.* 1997).

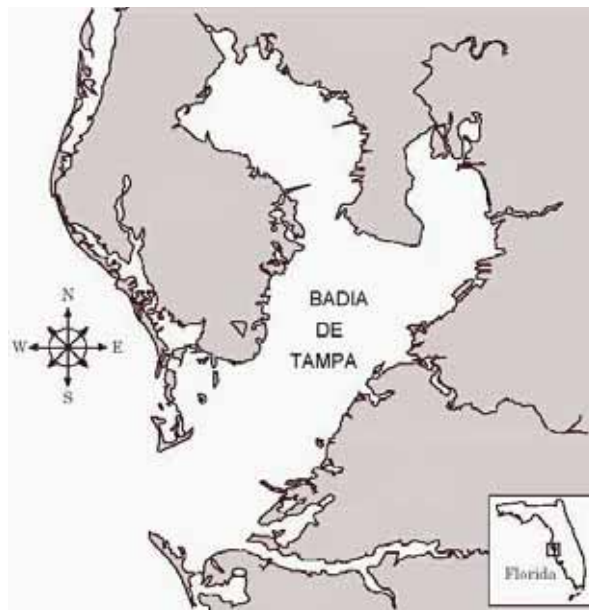


Figura B.6 Localització de la badia de Tampa, Florida, EUA (a partir de Wang *et al.* 1999).

Estuaris a Austràlia Occidental (Austràlia)

Em aquest grup es troben seguint la direcció Nord-Sud de la costa oest australiana l'estuari del Rius Swan i Canning, el sistema badia-estuari de Peel-Harvey, les rades Leschenault, Hardy, Nornalup, Wilson i el port Oyster (Figura B.7). El més accessible per la literatura científica actual és el segon, raó per la qual és que prenc com a exemple per comentar.

La badia-estuari Peel-Harvey

És un conjunt mediterrani somer d'un estuari (Harvey) que es comunica posteriorment amb una badia (Peel "inlet") abans de travessar el canal estret que els dona accés a l'oceà Índic (Figura B.7). La precipitació anual és de l'ordre de 950mm que cauen fonamentalment a l'hivern, i els anys amb hiverns especialment plujosos ha patit de blooms primaverals de cianobacteris, fins que es van construir l'any 1993 un segon canal de comunicació amb l'exterior en la zona entre l'estuari i la badia posterior per tal d'incrementar l'intercanvi d'aigua amb l'oceà, i aquesta va ser la única manera d'eradicar definitivament els periòdics blooms i les hipòxies associades. Aquestes hipòxies a més, es donen precisament quan s'agreuja l'estratificació salina (finals d'hivern-primavera), i depèn no només de la barreja vertical sinó del grau d'esforç vertical dels corrents (Hearn i Robson 2001). De fet, el seu funcionament hidrodinàmic ha estat recurrentment comparat amb el de la badia de Tomales (veure més a munt), si bé la hipersalinitat que manifesta aquesta última sol ser d'1-2 psu mentre que la de l'estuari Harvey previ a l'obertura del segon canal de comunicació amb mar obert podia arribar fins a 10 psu (Hearn i Lukatelich 1990). Aquesta hipersalinitat provoca un funcionament d'estuari invertit excepte en els sistemes en que només tenen unes poques unitats d'hipersalinitat (diferència entre les unitats de salinitat de dins l'estuari respecte les de mar obert) com la badia de Tomales, gràcies a que

el balanç tèrmic positiu que acompanya aquests indrets mediterranis pot equilibrar les hipersalinitats aconseguint mantenir-se quasi-neutre amb una inversió mínima. No passava així amb l'estuari Harvey, que funcionava com a estuari invertit a l'estiu i com a estuari positiu fortament dominat pel flux del riu a l'hivern, en que podia presentar unes poques unitats de salinitat.

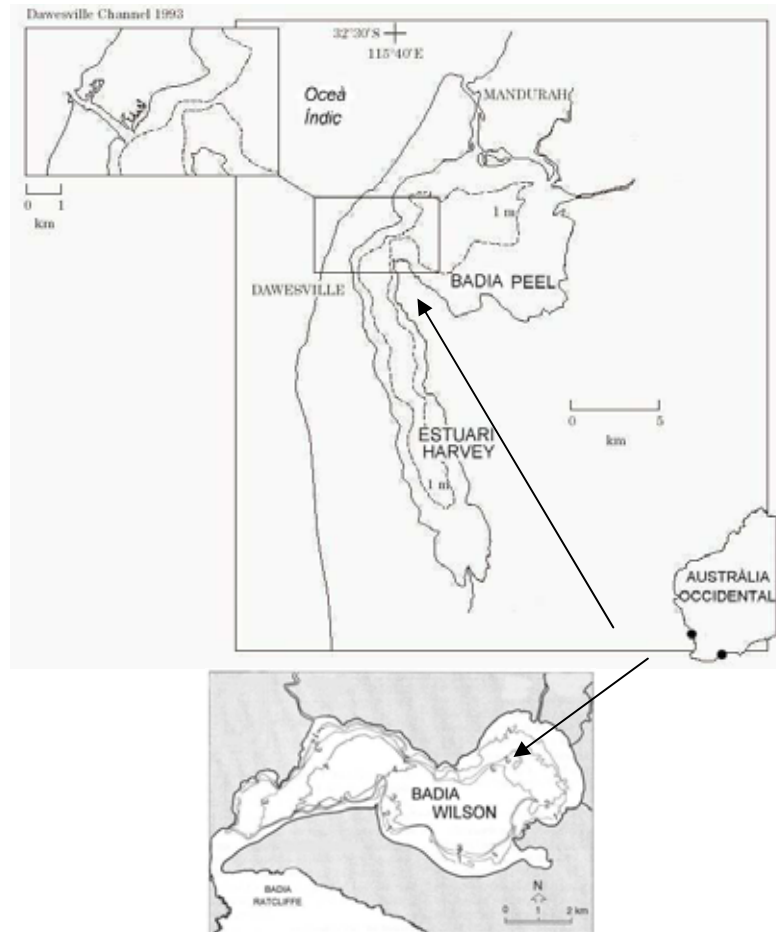


Figura B.7 Localització dels estuaris mediterranis d'Austràlia Occidental, Austràlia (a partir de Largier *et al.* 1996, Hearn 1998).

La badia "Wilson Inlet"

Aquest altre sistema micromareal mediterrani mereix un especial comentari per similitud ambiental amb la Badia dels Alfacs i per la proximitat en els mètodes de mesura del metabolisme d'oxigen del sediment emprats en ambdós sistemes, com s'explicarà més detalladament en un proper capítol. La badia Wilson (Figura B.7) té descrita una oscil·lació mareal de prop de 20cm (Ranasinghe i Pattiaratchi 1998), i presenta una precipitació anual de prop de 1100 mm, distribuïts fonamentalment a l'hivern amb pluges torrencials de fins a 60mm d-1, malgrat també es troben descrites pluges torrencials estiuenques de forma ocasional. El balanç hídric atmosfèric indica que la precipitació mitjana mensual supera a la de l'evaporació entre Maig i Setembre (tardor i hivern austral) mentre que els 7 mesos restants el balanç és invers. Els aportos anuals d'aigua dolça pels rius de la conca són de

$207 \times 10^6 \text{ m}^3$, el 80% dels quals entra durant els mesos hivernals a causa de les pluges d'aquesta temporada (Hodgkin i Clark 1988).

L'estuari de Palmiet, (Província del Cap, Sud-àfrica)

Els estuaris mediterranis sud-africans solen ser de petites dimensions, fondàries màximes inferiors als 10m i molts d'ells amb les zones de comunicació amb mar obert tancades temporalment per barres de sorra durant alguns mesos l'any de forma natural (Allanson 2001). L'estuari de Palmiet, concretament, es troba situat a 34 S, té només 1.67 km de llarg, 2m de fondària al seu canal principal i 4m de fondària màxima (Figura B.8), però malgrat les seves reduïdes dimensions va ser escollit com a estuari representatiu dels estuaris protegits per alfacs en la regió de pluges hivernals de la província del Cap de Sud-àfrica (Largier i Taljaard 1991). És un estuari pristi d'aigües netes, en el que s'ha descrit tant un funcionament hidrodinàmic amb estructura bicapa típica (Branch i Day 1984, Taljaard *et al.* 1986) o amb estructura tricapa com la dels fiords noruecs (Largier 1986), i sense tancament de la boca de comunicació amb l'exterior. Als hiverns humits funciona com un estuari positiu. La seva conca hidrogràfica muntanyenca rep el pas hivernal de fronts freds de latituds mitjanes, que flueix ràpidament en avingudes immediates pel riu cap al mar passant per l'estuari. Les fluctuacions en aquest flux del riu dominen la variabilitat del flux submareal de l'estuari a l'hivern, mentre que a l'estiu la dominància és marina. Durant aquests mesos estivals secs, el gradient longitudinal de densitat es redueix fins a zero o fins i tot es pot arribar a invertir, generant una alta taxa de residència de l'aigua (Harcourt Baldwin 2000) Aquest patró de circulació hivernal - estival és el mateix que el descrit a la Badia de Tomales, i s'ha arribat a voler assignar com el patró dels estuaris mediterranis (Largier *et al.* 1997, Hearn 1998), si bé en casos com el de la badia dels Alfacs no es pot aplicar, a causa de la seva diferent climatologia, tal i com s'ha comentat prèviament al Capítol 1.

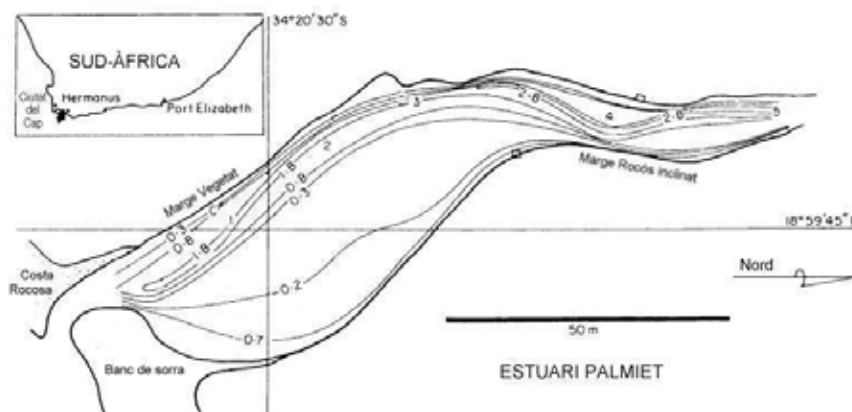


Figura B.8 Localització de l'estuari de Palmiet, Sud-àfrica (a partir de Largier i Taljaard 1991).

Badia portuària de Tolo (Hong Kong, Xina).

Situada al NE dels nous territoris de Hong Kong a prop del límit Nord del Mar del Sud de la Xina (Figura B.9), és una badia portuària estuariana subtropical sense rius importants que hi vessin les seves aigües. El cos d'aigua principal fa 16 km de llarg i 3 km d'ample, i 12m de fondària mitjana. Té una entrada en forma de coll d'ampolla que junt amb la seva reduïda oscil·lació mareal mitjana de menys d'un metre li confereixen característiques sovint eutròfiques a causa de els incrementats aportos de nutrients antropogènics i que les corrents mareals no són prou importants per renovar la seva aigua, en general. El clima és tropical amb Monsons, amb precipitació anual entre 1900 i 2200 mm, el 70% dels quals cau de Maig a Setembre. Els estius són secs i humits amb vents predominants del SW, mentre els hiverns són frescos i secs amb vents predominants del NE. Les temperatures mitjanes de l'aigua superficial oscil·len entre 15 C al Gener i 30.5 C al setembre. La precipitació anual mitjana és de l'ordre de 2134 mm si bé una porció important es troba associada amb l'estació de ciclons o tifons tropicals entre Juliol i Setembre, que va acompanyada d'una estació seca posterior entre Novembre a Març (Hodgkiss i Yim 1995). De fet, en aquest port natural s'han realitzat nombrosos estudis de tendències temporals de variables fisico-químiques, estudis del seu fitoplàncton, model hidrodinàmics acoplats als químics i biològics, etc., que es comentaran en els moments oportuns durant els propers capítols de la següent tesi. La badia presenta una marea mitjana de menys d'1 m, i la fondària general és d'entre 5 i 10 metres a la major part de la badia interna. El seu fitoplàncton està més limitat per nitrogen que per fòsfor (Chau i Sin 1992). Sol haver-hi (o com a mínim als anys 80) mortalitat massiva d'organismes bentònics de forma regular a la part interior de la badia portuària, i és atribuïda a la desaparició estival d'oxigen a causa de l'eutrofització. La comunitat bentònica es recupera aviat per una ràpida recolonització hivernal (Wu 1982). De totes formes aquesta badia estuariana presenta recurrents blooms de dinoflagelats tòxics, la freqüència dels quals va incrementar significativament als anys 80 amb 69 incidents enregistrats només des de 1980 fins a 1986. Es va identificar més de 20 organismes responsables. A més, l'any 88 van tenir un blooms persistents de *Gonyaulax polygramma* desde Febrer a mitjans de Maig que va acabar en una anòxia severa i una mortalitat massiva de peixos el 5 de maig, relacionada amb el dèficit d'oxigen (Lam i Ho 1989). En general la badia es troba estratificada com un estuari bicapa típic, i s'associa aquestes condicions eutròfiques a finals d'estiu amb una molt reduïda renovació de la capa d'aigua fonda a la part més interna de la badia de Tolo. La picnoclina està potenciada tant per la major precipitació estival (haloclina) com per la seva major irradiància solar (termoclina), i en ambdós casos contribueixen a disminuir la connexió i l'intercanvi vertical d'aigua entre les dues capes (Chau i Jin 1998).

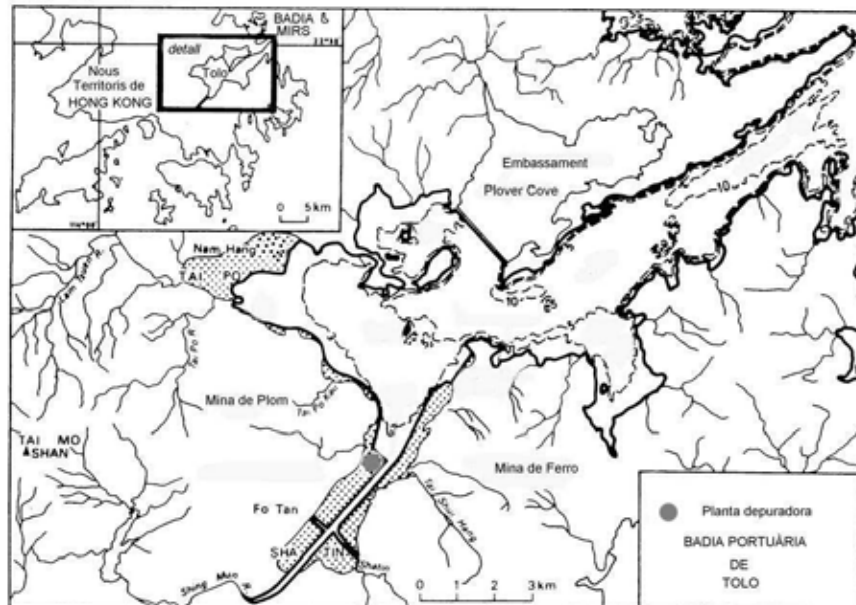


Figura B.9 Localització de la badia portuària de Tolo, Hong Kong, Xina (Hodgkiss i Yim 1995).

Badia d'Uranouchi (Japó)

Està situada a la part més al sud de l'arxipèlag japonès, a la vessant sud de l'Illa de Shikoku (Figura B.10), com una badia petita, estreta i allargada (9km x 0.5km x 16m, aproximadament) amb contorn irregular, i connectada per un ressalt estret i somer amb l'Oceà Pacífic a través del Golf o Badia de Tosa (Ueda 1949, Fukami *et al.* 1996, Somsueb *et al.* 2001). Experimenta fortes precipitacions durant els mesos de juny, juliol i agost a causa dels monsons del Sud-Oest, mentre que els monsons del Nord-Est porten pluges suaus durant els mesos de setembre a desembre. La precipitació anual és de 3100 mm, i la temperatura aèria es troba entre els 25 °C a l'hivern i els 35 °C a l'estiu, mentre que l'aquàtica oscil·la entre 15 °C i 30 °C (Ohno 1988). El rang mareal de de l'ordre de 2 m (Y. Munekage, *com. pers.*). La badia d'Uranouchi sovint es troba estratificada, i a l'estiu el percentatge de saturació d'oxigen descendeix considerablement (Munekage 1992, Kimura i Izumi 1994), havent-se descrit en el passat valors de 15.7 % (Ueda 1949). Les espècies de bivalvs de vida llarga de la badia s'han extingit en el transcurs de 50 anys des de 1942, a causa possiblement de l'eutrofització associada a les granges de peixos (Iga i Kondo 1993).

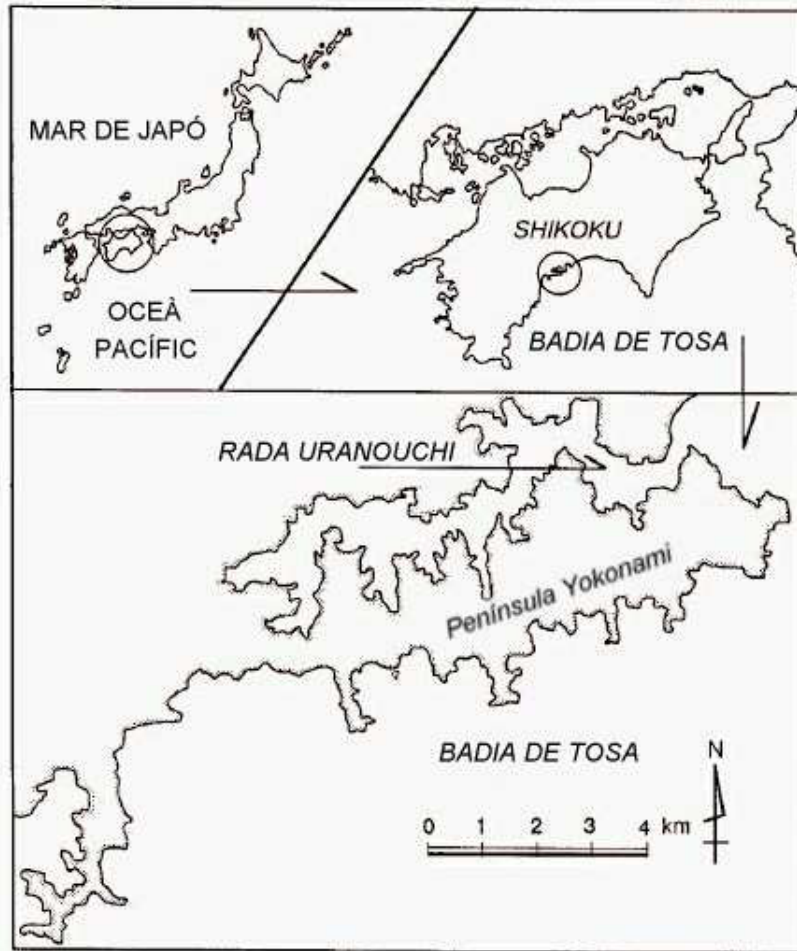


Figura B.10 Localització de la badia d'Uranouchi, Shikoku, Japó (a partir de Somsueb *et al.* 2001).

Bibliografia

- Alden III, R. W., 1997. Dynamics of an estuarine ecosystem - The Chesapeake Bay experience: statistical approaches and water quality patterns. *Oceanologica Acta*, 20 (1): 55-69.
- Allanson, B. R., 2001. Some factors governing the water quality of microtidal estuaries in South Africa. *Water SA Pretoria*, 27 (3): 373-386.
- Anderson, L. i Rydberg, L., 1988. Trends in nutrient and oxygen conditions within the Kattegat: effects of local nutrient supply. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 26 559-570.
- Bell, S., 1999. Gap Dynamics in a Seagrass Landscape. *Ecosystems*, 2 (6): 493-504.
- Branch, G. M. i Day, J. A., 1984. Ecology of southern African estuaries: Part 13. The Palmiet River Estuary in the south-western Cape. *S. Afr. J. Zool.*, 19 (2): 63-77.
- Chau, K. W. i Jin, H., 1998. Eutrophication model for a coastal bay in Hong Kong. *Journal of Environmental Engineering*, 124 (7): 628-638.
- Chau, K. W. i Sin, Y. S., 1992. "Correlation of water quality parameters in Tolo Harbour, Hong Kong", a *Water Quality International '92 Washington Dc, 1992.*, 2555-2558.
- Fukami, K., *et al.*, 1996. Distribution of heterotrophic nanoflagellates and their Importance as the bacterial consumer in a eutrophic coastal seawater. *Journal of Oceanography*, 52 399-407.
- Gibbs, M. T., *et al.*, 2000. Maintenance of Near-Surface Stratification in Doubtful Sound, a New Zealand Fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51 (6): 683-704.
- Harcourt Baldwin, J. L., 2000. "Circulation and residence of water in small Mediterranean-climate estuaries", a *10th Southern African Marine Science Symposium SAMSS 2000: Land, Sea and People in the New Millennium Abstracts*, 1. University of Port Elizabeth, Port Elizabeth, South Africa.
- Harding, L. W., Jr., 1994. Long-term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: Roles of light, nutrients and streamflow. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 104 (3): 267-291.
- Hearn, C. J., 1998. Application of the Stommel model to shallow mediterranean estuaries and their characterization. *Journal of Geophysical Research C Oceans*, 103 (C5): 10,391-10,404.
- Hearn, C. J. i Largier, J. L., 1997. The summer buoyancy dynamics of a shallow Mediterranean estuary and some effects of changing bathymetry: Tomales Bay, California. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 45 (4): 497-506.
- Hearn, C. J. i Lukatelich, R. J., 1990. "Dynamics of Peel-Harvey Estuary, southwest Australia", a *Physics of Shallow Estuaries and Bays*, 431-450. Springer-Verlag, New York.
- Hearn, C. J. i Robson, B. J., 2001. Inter-annual variability of bottom hypoxia in shallow mediterranean estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52 (5): 643-657.
- Hodgkin, E. P. i Clark, R., 1988. Wilson, Irwin and Parry Inlets: The Estuaries of Denmark Shire., 3:
- Hodgkiss, I. J. i Yim, W. W. S., 1995. "A case study of Tolo Harbour, Hong Kong", a *Eutrophic Shallow Estuaries and Lagoons.*, 41-57.
- Iga, H. i Kondo, Y., 1993. Environmental changes of Uranouchi Bay, Kochi, during about 50 years (1943-1992), as inferred from bivalve distribution. *Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ. Kochidai Kaiyoseibutsu Kenpo*, 13 11-19.

- Jacobson, P., 1983. Physical Oceanography of the Trondheimsfjord. *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, 26 3-26.
- Jørgensen, B. B. i Richardson, K., 1996. Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems. *Coastal and Estuarine Studies*, 52: 273.
- Kimura, H. i Izumi, M., 1994. Effect of oxygen deficiency of the sea bottom of bay. *Fish. Eng. Japan Suisan Kogaku*, 31 (1): 41-45.
- Kuo, A. Y. i Neilson, B. J., 1987. Hypoxia and salinity in Virginia estuaries. *Estuaries*, 10 (4): 277-283.
- Lam, C. W. Y. i Ho, K. C., 1989. "Red tides in Tolo Harbour, Hong Kong", a *Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology. Proceedings of the First International Symposium on Red Tides Held November 10 14, 1987, in Takamatsu, Kagawa Prefecture, Japan.*, 49-52.
- Largier, J. L., 1986. Structure and mixing in the Palmiet Estuary, South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci. S. Afr. Tydskr. Seewet.*, 4 139-152.
- Largier, J. L., *et al.*, 1996. "Density structures in 'low inflow' estuaries", a *Buoyancy effects in Coastal and Estuarine Dynamics*, 53, 227-241. AGU, Washington, D.C.
- Largier, J. L., *et al.*, 1997. Seasonally hypersaline estuaries in Mediterranean-climate regions. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 45 (6): 789-797.
- Largier, J. L. i Taljaard, S., 1991. The dynamics of tidal intrusion, retention, and removal of seawater in a bar-built estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 33 (4): 325-338.
- Leth, O. K., 1995. "A study on the effect of local wind on the dynamics of the upper layer in the inner part of Malangen", a *Ecology of Fjords and Coastal Waters: Proceedings of the mare Nor Symposium on the Ecology of Fjords and Coastal Waters, Tromsø, Norway, 5 9 December, 1994*, 185-194.
- Lewis, R. R. I., *et al.*, 1998. The rehabilitation of the Tampa Bay Estuary, Florida, USA as an example of successful integrated coastal management. *Proceedings of an International Workshop on the Rehabilitation of Degraded Coastal Systems*, 20: 129-130.
- Li, C. Y., *et al.*, 1998. Separating baroclinic flow from tidally induced flow in estuaries. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 103 (C5): 10405-10417.
- Lusseau, D., *et al.*, 2003. The bottlenose dolphin community of Doubtful Sound features a large proportion of long-lasting associations. Can geographic isolation explain this unique trait? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54 (4): 396 - 405.
- Morrison, G., *et al.*, 1997. Estimated Nitrogen Fluxes and Nitrogen-Chlorophyll Relationships in Tampa Bay, 1985-1994. *Proceedings of the Tampa Bay Area Scientific Information Symposium*, 3:
- Munekage, Y., 1992. Application of a two-layer box model to dissolved oxygen budget in Uranouchi Bay. *Coast. Eng. Japan*, 35 (1): 129-145.
- Ohno, M., 1988. Seasonal changes of the growth of green algae, *Ulva* sp. in Tosa Bay, Southern Japan. *Marine Fouling*, 7 (1/2): 13-17.
- Öztürk, M., *et al.*, 2002. Iron Speciation in the Trondheim Fjord from the Perspective of Iron Limitation for Phytoplankton. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 5 (2): 197-212.
- Ranasinghe, R. i Pattiaratchi, C., 1998. Flushing characteristics of a seasonally-open tidal inlet: A numerical study. *Journal of Coastal Research*, 14 (4): 1405-1421.
- Rosenberg, R., 1985. Eutrophication - the future marine coastal nuisance? *Marine Pollution Bulletin*, 16 227-231.

- Rydberg, L., *et al.*, 1990. Interaction between supply of nutrients, primary production, sedimentation and oxygen consumption in SE Kattegat. *Ambio*, 19 134-141.
- Sakshaug, E. i Myklestad, S., 1973. Studies on the phytoplankton ecology of the Trondheimsfjord. III. Dynamics of phytoplankton Blooms in relation to environmental factors, bioassay experiments and parameters for the physiological state of the populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 11 (157-188):
- Smith, S. V. i Hollibaugh, J. T., 1997. Annual cycle and interannual variability of ecosystem metabolism in a temperate climate embayment. *Ecological Monographs*, 67 (4): 509-533.
- Somsueb, S., *et al.*, 2001. Development of seaweed communities on suspended substrata with three slope angles. *Journal of Applied Phycology*, 13 (2): 109-115.
- Stanton, B. R. i Pickard, G. L., 1981. Physical oceanography of the New Zealand fiords:
- Taljaard, S., *et al.*, 1986. The Palmiet Estuary: A model for water circulation using salinity and temperature measurements over a tidal cycle. *Water S.A.*, 12 (3): 119-126.
- Ueda, M., 1949. Hydrological observation on the Uranouchi Bay Kochi Prefecture, Japan. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 15 (4): 190-198.
- Wang, P. F., *et al.*, 1999. Water Quality and Eutrophication in Tampa Bay, Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49 (1): 1-20.
- Wu, R. S. S., 1982. Periodic defaunation and recovery in a subtropical epibenthic community, in relation to organic pollution. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 64 (3): 253-270.

Annex C. Augmenten les hipòxies?

Annex C. Augmenten les hipòxies?

Existeix una certa creença de què els progressius efectes de la pujada de la temperatura a nivell global del planeta podrien portar associats una major freqüència i extensió dels fenòmens hipòxics en sistemes marins costaners (Kennedy 1990, Beukema 1992). Per altra banda s'ha descrit una tendència d'increment d'eutrofització costanera al llarg i ample del món (Walsh *et al.* 1981, Nixon *et al.* 1986), i els seus símptomes locals han estat repetidament anomenats com la possible causa de davallades d'oxigen constatades arreu (Turner i Rabalais 1944, Jørgensen 1980, Officer *et al.* 1984, Rosenberg 1985, Anderson i Rydberg 1988, Rosenberg 1985, Colombo *et al.* 1992, Vollenweider *et al.* 1992, Justic *et al.* 1993, Orel *et al.* 1993). De fet, el que sí que s'ha constatat són canvis extrems a gran escala temporal en la concentració d'oxigen de sistemes marins (constatació feta a partir de Savrda i Bottjer 1991 i altres estudis en Tyson i Pearson 1991 que van analitzar registres paleoambientals per tal de reconstruir conques marines antigues). Un altre exemple concret ben documentat és el de la plataforma continental de Louisiana, en què en comparar els senyals estratigràfics de foraminífers bentònics en testimonis de sediment datats amb ^{210}Pb , per tal de llegir l'empremta històrica de la hipòxia en els últims dos-cents anys, van trobar evidència d'un increment general de dèficit d'oxigen (en intensitat i durada), especialment en els últims 100 anys Sen-Gupta *et al.* 1996.

A finals del segle XX s'ha descrit una zona de mínims d'oxigen en algunes àrees de l'oceà, generalment a fondàries intermèdies de la columna d'aigua, típicament en oceans oberts o al llarg de línies de costa. En algunes àrees de mar profund aquesta zona pot arribar fins al fons, exposant la fauna a concentracions baixes d'oxigen dissolt (Thomson *et al.* 1985, Wishner *et al.* 1990, Levin *et al.* 1991). Els registres sedimentaris citats anteriorment suggereixen que les grans extensions de l'oceà on es donen aquestes concentracions mínimes d'oxigen persistents a prop del fons, potser no són només conseqüència d'un fenomen de les últimes dècades, sinó que existiren ja des de més antic.

Des d'un altre òptica totalment diferent, es pot observar que s'ha publicat força articles sobre les hipòxies en sistemes marins somers en les últimes dècades (Figura C.1), si bé aquesta tendència està molt possiblement esbiaixada per la dificultat d'accedir a les cites similars de dècades anteriors als anys 70 a través de les bases de dades electròniques actuals. A més, la preocupació per les hipòxies esdevé més important a mesura que augmenta la pressió demogràfica sobre la costa, i aquesta ha augmentat de manera molt important arreu del món. És a dir, la creença que les hipòxies poden haver augmentat amb el temps no es veu confirmada per aquest estudi bibliomètric. Es va realitzar ja amb anterioritat una compilació exhaustiva d'informes d'hipòxies a escala mundial pel National Oceanographic Data Center, a Washington (EUA). Van recollir més de 2 milions d'observacions de concentracions d'oxigen dissolt entre 1905 i 1982 per a mars, oceans i àrees estuarianes (salinitat < 28 psu), de les quals 27.413 manifestaven condicions hipòxiques (catalogades com a tals, segons el seu criteri emprat, amb concentracions per sota de 0.2 ml O₂ l⁻¹). El fet

remarcable dels seus resultats (Kamykowski i Zentara 1990) que voldria destacar aquí, és que tampoc no van trobar una tendència d'increment monòtona al llarg de tot el segle sinó que la moda de la seva distribució es troba cap als anys 60, i no al final del seu registre d'observació (Figura C.2).

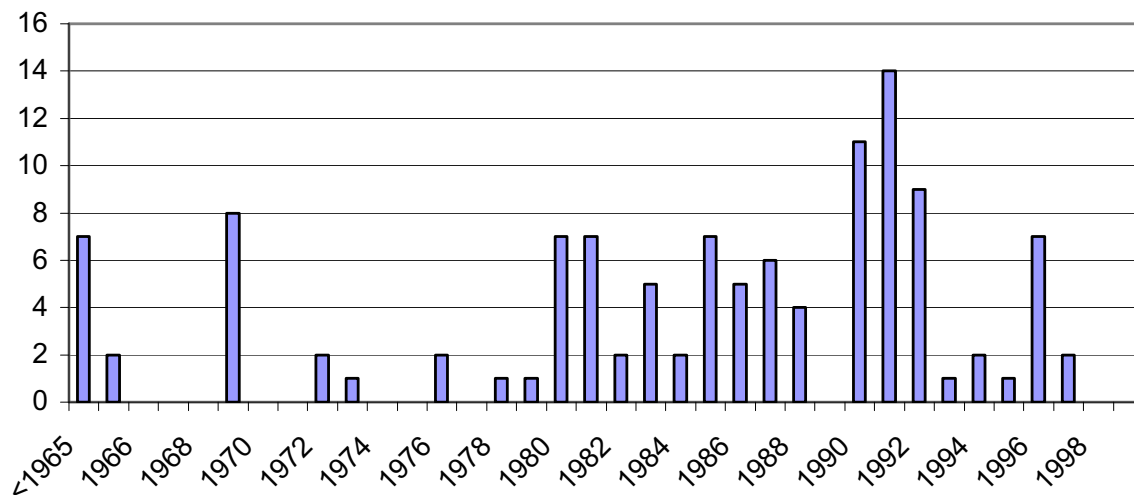


Figura C.1. Articles amb citacions d'episodis anòxics o hipòxics en ambients estuarins costaners

La creença de que pot haver augmentat amb el temps la durada i extensió dels fenòmens hipòxics en sistemes estuarins en el segle XX sembla haver-se creat, de fet, sense que existeixin sèries de dades prou llargues (de varies dècades) que la sostinguin adequadament. Únicament en alguns ecosistemes com els de la badia de Chesapeake existeixen estudis prou antics (Newcombe i Horne 1938) com per a poder suggerir amb legitimitat, a hores d'ara, tendències al llarg del segle al seu cos central (Officer *et al.* 1984) i als seus subestuaris (Heinle *et al.* 1980). Però ni en aquest cas s'ha pogut demostrar que existeixi aquesta tendència a incrementar les hipòxies a llarg termini: s'han fet estudis estadístics de tendències del fitoplàncton a partir d'extenses sèries de dades recollides des de 1950 (Harding 1994, Harding i Perry 1997), però els estudis publicats fins a la data que han buscat tendències similars per a l'oxigen dissolt tan sols es remunten a 1984 (Alden III 1997). Les seves conclusions si que indiquen que existeixen tendències significatives a disminuir l'oxigen de la capa de fons, un cop extret l'efecte distorsionador del flux variable del riu sobre la sèrie d'oxigen dissolt. Però aquests estudis estadístics es limiten a poc més que una dècada d'observació. És a dir, no hi ha hagut estudis que analitzin estadísticament sèries temporals prou extenses d'oxigen dissolt de sistemes estuarins fins a la data, de la mateixa manera que s'ha fet per a la temperatura de l'aigua, per exemple, com s'ha comentat en el Capítol 1 d'aquesta tesi.

Un conjunt de cites que es podrien fer servir per sostenir la hipòtesi de l'increment de les hipòxies procedeixen d'estudis de finals del segle XX per a l'àrea de l'Skagerrak (Suècia; plana 319). En la primera, Rosenberg (Rosenberg 1985) afirma que efectivament (es cita textualment) "alguns fiords

suecs semi-tancats a l'Skagerrak han estat afectats per (...) i, sembla, per increments espacials i temporals de desoxigenació de la seva aigua fonda (Lindahl i Hernroth 1983)". Després de llegir la seva font de documentació per suggerir aquesta hipòtesi, i analitzar les seves conclusions des d'una perspectiva més àmplia, seria erroni extrapolar la seva mateixa conclusió en un rang temporal o espacial més ampli, a manca de més dades que ho sostinguessin. La tendència de l'oxigen dissolt descrita és certa, però no la seva transcendència, segons la reduïda sèrie temporal de dades a partir de la qual es fonamenta. Lindhal i Hernroth van estudiar tan sols la sèrie de 1978 a 1981 (inclosos) en el fiord Gullmar, que es un exemple típic de fiord "tricapa" de 120 m de fondària màxima i permanentment estratificat. El ressalt es troba als 40 m, i tota l'aigua a major fondària presenta fenòmens de tendència a disminuir la concentració d'oxigen durant el seu període d'observació, coincidint amb unes concentracions extraordinàriament altes de Clorofil·la a la capa eufòtica (0-12m), dins la capa d'aigua estuariana més superficial. De totes formes, són freqüents en els fiords escandinaus els períodes plurianuals recurrents en que l'aigua fonda del sistema tricapa roman estancada durant diversos anys. Aquesta situació finalitza quan, de sobte, en un any concret canvien les condicions hidrodinàmiques oceàniques properes, i "empenyen" una massa d'aigua salada nova que sobrepassa el ressalt d'entrada al fiord i es renova la capa d'aigua més fonda, fins el proper període d'intercanvi. Així doncs, aquesta cita d'increment temporal i espacial de les hipòxies en la que es fonamenta R. Rosenberg s'ha de reconsiderar únicament en l'àrea dels fiords escandinaus i per a escales de temps curtes (de pocs anys). Caldria que s'acompanyés l'"extrapolació" amb una longitud temporal de dades superior a la freqüència de renovació periòdica de l'aigua fonda d'aquell fiord, que bé podria ser major que quatre anys com passa en altres fiords (Dahl i Danielssen 1992).

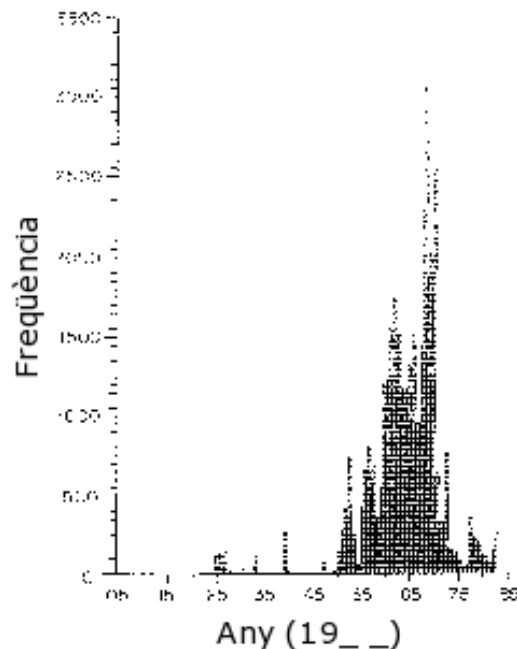


Figura C.2. Diagrama de freqüències amb el nombre d'observacions cada any, per a totes les observacions descrites a Kamykowski i Zentara (1990).

La segona cita de l'Skagerrak és més recent (Johannessen i Dahl 1996). Han analitzat un extens conjunt de dades de concentració d'oxigen dissolt entre 1927 fins a mitjans dels anys 90 i a partir dels seus resultats afirmen que "la disminució de les saturacions d'oxigen a la capa intermèdia i a l'aigua del fons és un fenomen àmpliament estès al llarg de la costa noruega". De totes formes les conclusions d'aquest treball han estat discutides per altres autors al·legant diversos errors estadístics (Gray i Abdullah 1996), pel que la disminució d'oxigen que hi descriuen no és un fet unànimement acceptat.

Hi ha una última referència que també reforça la hipòtesi de que no han existit diferències significatives de decrement de l'oxigen dissolt a l'Skagerrak. Anderson i Rydberg (1988) no van trobar cap tendència a l'oxigen dissolt en analitzar mostres mensuals entre Agost i Octubre durant els anys compresos entre 1965 i 1982 (mentre que a l'aigua fonda del Kattegat, aquest decrement sí que va ser estadísticament significatiu).

Molt a prop de l'Skagerrak, a la badia de Kiel (Alemanya) Weigelt (1991) va descriure que els successos d'esgotament d'oxigen estaven augmentant la freqüència, severitat i extensió espacial. Ho afirma citant hipòxies en 10 dels 24 anys entre 1961 i 1985 (a partir de mesures hidrogràfiques, bentòniques i/o de pesqueries) malgrat no s'observa cap tendència clara en la seva sèrie de dades. El que sí que han mesurat amb més detall espacial i continuïtat han estat les biomasses d'organismes bentònics al llarg de prop de 20 anys. A partir de l'increment d'abundàncies d'organismes amb tolerància al dèficit d'oxigen i el decrement dels menys tolerants, dedueixen que va augmentar la freqüència d'aparició de les hipòxies. De totes formes, Weigelt fonamenta el seu argument citant especialment un treball seu de l'any anterior (Weigelt 1990). En aquest altre treball, la sèrie de dades hidrogràfiques de més de 30 anys (entre 1953 i 1986) va ser presa en el lloc més allunyat de la circulació general entre el Kattegat i el Bàltic, que a més té una forma comparable, en certa manera, a la d'un fiord escandinau estret i allargat, amb el que es redueix encara més l'eventual renovació d'aigua fonda general de la zona propera. És a dir, essent estrictes, no és un clar exemple de les condicions generals de la propera al Mar de Belt, i les conclusions que es poden treure del seu anàlisi en aquest indret tan singular només poden tenir una aplicació de caire local. En resum, es pot indicar que els períodes hipòxics en la zona de la Badia de Kiel efectivament estarien augmentant "aparentment", però no seria lícit afirmar-ho de forma categòrica a partir de les seves dades per a tota la zona de connexió entre el Bàltic i el Mar del Nord.

Val a dir que cal ser cautelosos amb les afirmacions sobre la dinàmica de l'oxigen en les aigües del Skagerrak, Kattegat, Mar de Belt i badia Kiel (en general tota la zona de connexió entre el Mar del Nord i el Mar Bàltic) a partir de sèries de dades de poques dècades d'extensió, com ja s'ha comentat anteriorment. Per exemple, malgrat va haver una tendència de disminució de les concentracions d'oxigen a la part més fonda de la conca de l'Skagerrak (700m) fins a 1988, aquesta va anar seguida per un influx d'aigua rica en oxigen per sobre del rebaix a 270m el 1990. Després d'aquesta renovació

de l'aigua fonda no van quedar evidències de que els valors d'oxigen de principis dels 90 fos inferior al dels anys 50 ó 60 (Dahl i Danielssen 1992).

Un altre de les cites que relata un deteriorament ambiental durant 50 anys recents, ho fa a partir de distribució d'organismes bentònics en la badia d'Uranouchi Inlet, Shikoku, Japó (Iga i Kondo 1993). Es nodreix de la comparació del nombre d'espècies de bivalvs, i dels seus individus de forma puntual, a partir de 22 mostres de 1943 i 1992, en que s'observa un decrement de 10 a 6 espècies, i un augment de les poblacions d'individus petits, de vida curta i adaptats a la pol·lució orgànica. Relacionen aquest canvi directament a la presència de masses d'aigua deficitàries d'oxigen a la part central de la badia. Aquestes hipòxies estan agreujades per les granges d'aqüicultura instal·lades, que juntament amb la circulació estuariana disminuïda a causa de l'orografia que l'aïlla de la badia de Tosa i de l'Oceà Pacífic, són les màximes responsables d'aquest empitjorament. En aquest cas tampoc no hi ha un estudi estadístic significatiu al llarg de varies dècades que ho corrobori, pel que hem de tornar a la mateixa conclusió que en casos anteriors: sembla que els episodis deficitaris d'oxigen podrien estar augmentant, però no es disposa de prou dades per a afirmar-ho categòricament.

En el nostre cas d'estudi, es coneix que la badia dels Alfacs ha patit en el passat alguns episodis de mortalitats sobtades de peixos segons els pescadors de la zona (com. pers.), normalment atribuïts a la presència d'algues nocives o bé a fenòmens anòxics. Ambdós fenòmens han estat posteriorment descrits a la badia, tant el cas de la proliferació de dinoflagelats productors de substàncies ictiotòxiques (Garcés *et al.* 1999) com l'esgotament local d'oxigen, descrit per primer cop a l'any 1990 per Camp (1994). A partir del seguiment setmanal de la qualitat de l'aigua fet per tècnics del Centre Nacional d'Aqüicultura a partir de 1990, es va poder observar com l'any 1992 es van registrar valors de concentració d'oxigen per sota dels 2 mg O₂ l⁻¹ al punt mig de la badia, inferiors fins i tot als enregistrats el 1990 i 1991 (Figura 2.8c). El 1994 s'assoliren valors encara més baixos, propers a 1 mg O₂ l⁻¹ en el mateix punt de mostreig, el que fa pensar que hi devia haver un episodi d'anòxia de gran magnitud i abast a la badia. Es desconeix, també en el cas d'Alfacs, si aquestes hipòxies són fruit de situacions atípiques recurrents amb freqüència baixa però constant al llarg del temps, o si, per altra banda, són fruit d'una tendència temporal a incrementar la seva aparició i durada.

La pregunta "Augmenten les hipòxies?" no es pot respondre tal qual. Cal definir millor l'àmbit espacial i temporal al qual es fa referència, com hem vist, i cal especificar si per buscar aquest esperat augment s'ha de tenir en compte tant la freqüència d'aparició dels fenòmens hipòxics com la seva durada i intensitat. De totes formes, la intuïció ens diu a alguns que en un gran nombre d'aquests casos si que deuen haver augmentat el nombre i/o la severitat dels dèficits d'oxigen al llarg d'aquest segle, o com a mínim en les últimes dècades; el rigor científic, però, ens obliga convertir la possible afirmació d'una "evidència" en tan sols una "possibilitat", pendent de demostració experimental. Dit en paraules de Diaz i Rosembeg (Diaz i Rosenberg 1995), tretes de la seva última i excel·lent revisió sobre hipòxia bentònica marina:

“Mentre han existit ambients hipòxics i anòxics al llarg dels temps geològics, la seva aparició en àrees costaneres someres i àrees estuàries sembla estar-se incrementant, més probablement accelerada per activitats humanes”.

Més enllà d'aquesta afirmació a nivell general no es pot anar. Per tant, el millor és deixar aquesta pregunta, fins que hi hagi més dades per respondre-la amb propietat a través del mètode científic.

Bibliografia

- Alden III, R. W., 1997. Dynamics of an estuarine ecosystem - The Chesapeake Bay experience: statistical approaches and water quality patterns. *Oceanologica Acta*, 20 (1): 55-69.
- Anderson, L. i Rydberg, L., 1988. Trends in nutrient and oxygen conditions within the Kattegat: effects of local nutrient supply. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 26 559-570.
- Beukema, J. J., 1992. Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: Lessons from periods with mild winters. *Proceedings of the 26th European Marine Biology Symposium. Biological Effects of Disturbances on Estuarine and Coastal Marine Environments*, 30: 73-79.
- Camp, J., 1994. Aproximaciones a la dinámica ecológica de una bahía estuárica mediterránea. Doctoral, 245 pp., Barcelona.
- Colombo, G., *et al.*, 1992. Marine eutrophication and population dynamics:
- Dahl, E. i Danielssen, D. S., 1992. Long-term observations of oxygen in the Skagerrak. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 195 455-461.
- Diaz, R. J. i Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 33 245-303.
- Garcés, E., *et al.*, 1999. *In situ* growth rate and distribution of the ichthyotoxic dinoflagellate *Gyrodinium corsicum* Paulmier, in an estuarine embayment (Alfacs Bay, NW Mediterranean Sea). *Journal of Plankton Research*, 21 (1): 1977-1991.
- Gray, J. S. i Abdullah, M. I., 1996. Are there negative trends in oxygen saturation along the Norwegian Skagerrak coast? *Limnol. Oceanogr.*, 41 (4): 810-812.
- Harding, L. W., Jr., 1994. Long-term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: Roles of light, nutrients and streamflow. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 104 (3): 267-291.
- Harding, L. W., Jr. i Perry, E. S., 1997. Long-term increase of phytoplankton biomass in Chesapeake Bay, 1950-1994. *Marine Ecology Progress Series*, 157 39-52.
- Heinle, D. R., *et al.*, 1980. Historical review of water quality and climatic data from Chesapeake Bay with emphasis on effects of enrichment:

- Iga, H. i Kondo, Y., 1993. Environmental changes of Uranouchi Bay, Kochi, during about 50 years (1943-1992), as inferred from bivalve distribution. *Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ. Kochidai Kaiyoseibutsu Kenpo*, 13 11-19.
- Johannessen, T. i Dahl, E., 1996. Negative trends in oxygen saturation along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993: A signal of ecosystem changes due to eutrophication? *Limnol. Oceanogr.*, 41 766-778.
- Jørgensen, B. B., 1980. Seasonal oxygen depletion of in the bottom waters of a Danish fjord and its effects on the benthic community. *Oikos*, 34 68-76.
- Justic, D., *et al.*, 1993. Seasonal coupling between riverborne nutrients, net productivity and hypoxia. *Mar. Pollut. Bull.*, 26 (4): 184-189.
- Kamykowski, D. i Zentara, S. J., 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep Sea Res.*, 137 (1A): 1861-1874.
- Kennedy, V. S., 1990. Anticipated effects of climate change on estuarine and coastal fisheries. *Fisheries*, 15 (6): 16-25.
- Levin, L. A., *et al.*, 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research*, 49 763-800.
- Lindahl, O. i Hernroth, L., 1983. Phyto-zooplankton community in coastal waters of western Sweden- an ecosystem off balance? *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 10 (2): 119-126.
- Newcombe, C. L. i Horne, W. A., 1938. Oxygen poor waters in the Chesapeake bay. *Science*, 88 80-81.
- Nixon, S. W., *et al.*, 1986. Nutrients and the productivity of estuaries and coastal marine ecosystems. *J. Limnol. Soc. S. Afr.*, 12 (1/2): 43-71.
- Officer, C. B., *et al.*, 1984. Chesapeake Bay Anoxia: Origin, Development, and Significance. *Science*, 223 22-27.
- Orel, G., *et al.*, 1993. Ipossie e anossie di fondali marini L'Alto Adriatico e il Golfo di Trieste:
- Rosenberg, R., 1985. Eutrophication - the future marine coastal nuisance? *Marine Pollution Bulletin*, 16 227-231.

- Savrda, C. E. i Bottjer, D. J., 1991. "Oxygen-related biofacies in marine strata: an overview and update." a *Modern and ancient continental shelf anoxia*, Special Publication 58, 201-219. Geological Society, London.
- Sen-Gupta, B. K., *et al.*, 1996. Seasonal oxygen depletion in continental-shelf waters of Louisiana: Historical record of benthic foraminifers. *Geology*, 24 (3): 227-230.
- Thomson, J. B., *et al.*, 1985. Alternative biofacies model for disaerobic communities. *Lethaia*, 18 167-179.
- Turner, R. E. i Rabalais, N. N., 1944. Coastal eutrophication near the Mississippi river delta. *Nature*, 368 619-621.
- Tyson, R. V. i Pearson, T. H. e., 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia, Special publication 58:
- Vollenweider, R. A., *et al.*, 1992. Marine Coastal Eutrophication:
- Walsh, J. J., *et al.*, 1981. Biological export of shelf carbon as a sink of the global CO₂ cycle. *Nature*, 291 196-201.
- Weigelt, M., 1990. Oxygen conditions in the deep water of Kiel Bay and the impact of inflowing salt-rich water from the Kattegat. *Meeresforsch*, 33 (1): 1-22.
- Weigelt, M., 1991. Short- and long-term changes in the benthic community of the deeper parts of Kiel Bay (Western Baltic) due to oxygen depletion and eutrophication. *Meeresforsch*, 33 197-224.
- Wishner, K., *et al.*, 1990. Involvement of the oxygen minimum in benthic zonation on a deep seamount. *Nature*, 346 57-9.

**Annex D. “OMMEL: Oxygen Model for
Microtidal Estuaries and Lagoons”**

Annex D. "OMMEL: Oxygen Model for Microtidal Estuaries and Lagoons"

D.1. Introduction

OMMEL stands for "Oxygen Model for Microtidal Estuaries and Lagoons". It is a multiplatform Fortran 90 based computer program which implements a 2 dimensional box model to calculate mass balances of dissolved oxygen in water. OMMEL requires, as input files, some data of forcing functions and ecological parameters related to

- benthic and planktonic communities,
- system topography and dimensions,
- meteorological data (light, wind speed, temperature), and
- hydrological data (salinity, temperature, initial conditions of dissolved oxygen).

After OMMEL runs the simulation, some output files are saved on disk, which can be later analyzed or visualized using common software packages. Some scripts are available to produce graphs and simple and common calculations based on "R" project software for statistical computing and scientific graphics (multiplatform, free software; <http://www.r-project.org>), or Matlab ® (proprietary software).

The numerical model was initially designed for Alfacs Bay, Ebre Delta, NW Mediterranean, and called "ABOM" (Alfacs Bay Oxygen Model). In 2002 other research groups became interested in the model to apply it to other scenarios overseas, and thus, it was renamed to its present name and shared as free software under the terms of the General Public License of the GNU Project (<http://gnu.org>). See the legal notice below to learn how to use or modify this program for your own purpose.

OMMEL source code is written in Fortran 90 and can be compiled using the free software compiler GNU Fortran (<http://gcc.gnu.org/fortran>), so that binary versions of the program are available for various operating systems.

OMMEL files are available through Sourceforge.net (Figura D.1):

<http://sourceforge.net/projects/ommel>

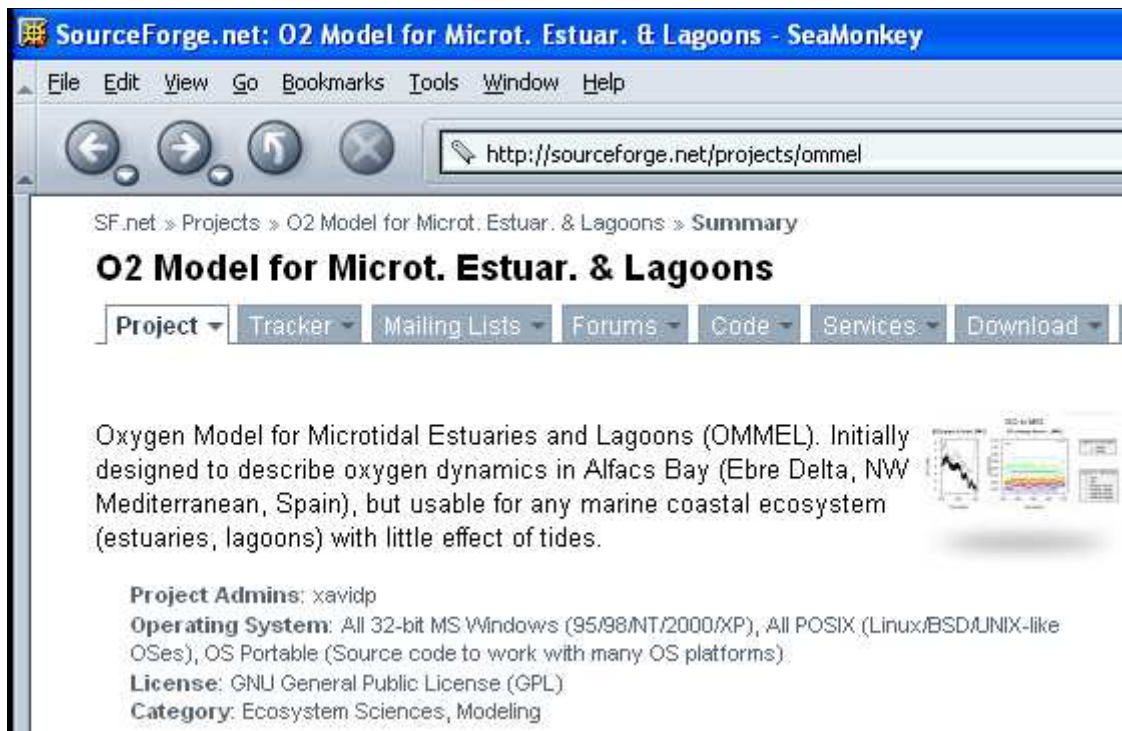


Figura D.1. OMMEL Home page at Sourceforge.net, the main portal to produce and find free software on the net. URL for OMMELproject: <http://sourceforge.net/projects/ommel>.

D.1.1. Overview

You can get OMMEL software from: <http://sf.net/projects/ommel>

Download it and unpack it to your working directory. If needed, you can get decompressing software from <http://www.7zip.org>. The executable file is under the directory `./bin`, so you need to change to that directory.

In order to run a simulation with OMMEL, execute the file `ommel` (under GNU/Linux), or `ommel.exe` (under MS Windows). This executable file will require fetching some input files, like the ones included in directory `./files_in` (with fake data, just as demo of the type and format of files needed). You need their content adapted to your own natural system. The better the input files, the better the simulation results, according to our experience. Ommel software comes with other folders containing other scripts and utilities (Figura D.2).

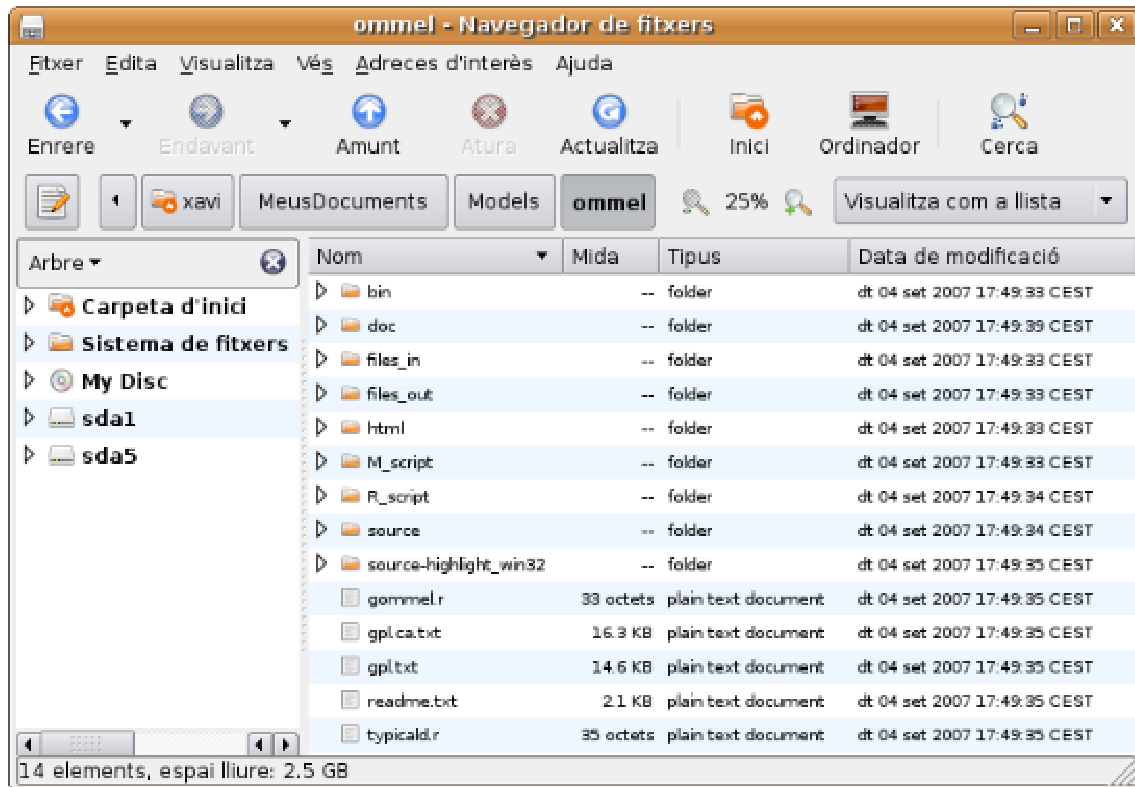


Figura D.2. OMMEL File tree, including the folders for binaries, input files, output files, R_scripts, Fortran source, and others. See text for more details.

Once you execute the program, you will see a screen like the ones shown in Figura D.3 and Figura D.4 (for GNU/Linux and MS Windows respectively), where you will be asked to:

- select the initial day of the year (in Julian days, i.e, numbered from 1 to 365).
Select "1", for instance.
- the final day of the simulation.
Select "365", for instance.
- select if you want to run a hydrostatic model; if no, then hydrodynamics will be considered according to a simple Officer (1984) box model.
Select "n", for instance, to have hydrodynamics into account.
- select if macroalgae self shading has to be considered, and which algorithm should be used to quantify it (in this ph. D. thesis algorithm 2 has been used in all calculations).
Select "2", for instance.

Then, you will end up with a screen like this:



Figura D.3. OMMEL dialog in a shell windows under GNU/Linux

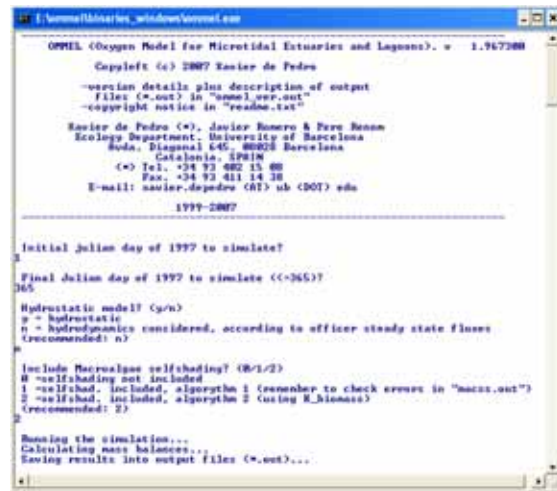


Figura D.4. OMMEL dialog in a shell windows under MS Windows

Once the simulation is finished, the results will be saved in the folder `./files_out` as ASCII files with `.out` extension. Data from different variables is saved inside each file (see below) as columns of fixed size from the second line onwards, having the codes from the variables included in the first line of that file. Then, you can import these data into your favorite Spreadsheet program, or make some exploratory plots with the provided scripts using “GNU R” software. R software is for statistical analyses and data visualization is free software available for GNU/Linux and MS Windows, downloadable from <http://www.r-project.org>.

Once you have it installed in you system, you run it by typing “R” at the command prompt from the same shell window where you executed OMMEL. For instance:

```

xavi@ward: ~/MeusDocuments/Models/ommel
Fitxer  E_dita  V_ualitza  T_erminal  P_estanyes  A_juda
Calculating mass balances...
Saving results into output files (*.out)...
xavi@ward:~/MeusDocuments/Models/ommel/bin$ R

R version 2.5.1 (2007-06-27)
Copyright (C) 2007 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

Natural language support but running in an English locale

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> setwd("../")
> source("gommel.r")

```

Note that the prompt now switches, in this example (using GNU/Linux) from “[xavi@ward:~/.../bin\\$](#)” to “>”, which shows the common prompt symbol when you are inside “R” workspace.

Then you need to set the working directory to the one level upwards, since you were at “./ommel/bin”. You can do that with the command:

```
> setwd("../")
```

Then you are at “./ommel”. There you can call the “gommel.r” script, which will draw several graphs from a basic output of OMMEL, or the “typicald.r” scripts, from means every hour of the day. You can run those scripts by typing the command:

```
> source("gommel.r")
```

or

```
> source("typicald.r")
```

This will produce many graphs on the screen, and if requested, also as image files on disk.

Further sections describe the input files needed (*.in), the output files generated (*.out), the Fortran source code of OMMEL, and the R scripts to produce the graphs shown below.

In order to edit those scripts to create your own graphs, you can use any good text editor, but there are some programs specifically deigned to work with R syntax and linked to R program. See below for more details in a the section “D.1.4. Editing the source code using free software”.

D.1.2. Description of Input and Output files

The program needs some **input files** (*.in):

Input files needed by OMMEL

1. llum.in	Irradiance in $W\ m^{-2}$, every $\frac{1}{2}$ h
2. k.in	Light extinction coefficient, weekly, 3 boxes
3. param.in	Parameters and other things..., monthly
4. biom.in	Biomasses and other things..., monthly
5. ts.in	Temp.(C) & sal (psu) at each box, monthly
6. dboh.in	Biochemical oxygen demand, per hour
7. ws97h.in	(hourly values)
8. inflows.in	Freshwater flows ($F_{ala}, F_{enc}, F_{dgl}, F_{dep}$) monthly, in $m^3\ s^{-1}$.

Sample content of these files is shown further down as examples.

And the program produces the following output files (*.out):

Columns in file **Light.out**

1. jtime	(24:nshours)
2. Rhour	(pyr GEMM in Alfacs, in $Watt\ m^{-2}$)
3. iazo	(espherical quantum sensor, AmpostaDARP, $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$)
4. iwzo	(espherical quantum sensor, below water, $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$)
5. iwz1	(z=-1.3m in $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$)
6. iwz2	(z=-4.3m in $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$)
7. iwz3	(z=-5.5m in $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$, on top of macroalgae mat)
8. ws	(Amposta, z=+10m. in $m\ s^{-1}$)
9. imac_b	(just below the macroalgae mat in mig, in $microE\ m^{-2}\ s^{-1}$)

Columns in file **miHSAT.out**

1. jday	(2:nsdays)
2. HSAT	in miS for Phytoplankton (h)
3. HSAT	in miF for Phytoplankton (h)
4. HSAT	in miF for Caulerpa prolifera (h)
5. HSAT	in miF for Alsidium corallinum (h)
6. ws_d	daily mean, at any box surface ($m\ s^{-1}$)

Columns in file **xxDOh.out**

-
1. jtime (24:nshours)
 2. DO_ at xx box, lower (mg l⁻¹)
 3. DO_ at xx box, upper (mg l⁻¹)
 4. DOtpc at xx box, lower (%)
 5. DOtpc at xx box, upper (%)
 6. dDO_ at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 7. dDO_ at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
-

(The next columns exist only in R or MATLAB ** typicald ** script)

10. DO_max at xx box, any? (mg l⁻¹ for 100 %O₂ saturation)
-

Columns in file **xxDOd.out**

-
1. jtime (24:nshours)
 2. DO_bm at xx box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 3. DO_bm at xx box, lower, for sp 2: *A. corallinum*(mg l⁻¹ h⁻¹)
 4. DO_pm at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 5. DO_pm at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 6. BNPh_a at xx box, from *Caulerpa prolifera* (mg m⁻² h⁻¹)
 7. BNPh_a at xx box, from *Alsidium corallinum* (mg m⁻² h⁻¹)
 8. BRh_a at xx box, from *Caulerpa prolifera* (mg m⁻² h⁻¹)
 9. BRh_a at xx box, from *Alsidium corallinum* (mg m⁻² h⁻¹)
 10. DO_hyd at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 11. DO_hyd at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 12. DO_adv at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 13. DO_adv at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 14. DO_exc at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 15. DO_exc at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 16. DO_ae at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 17. DO_imp_h written at boDOd.out only, at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
 18. DO_imp_h written at boDOd.out only, at xx box, upper (mg l⁻¹ h⁻¹)
 - 19(17). BNPh_a at xx box, from microphytobenthos (mg m⁻² h⁻¹)
 - 20(18). BRh_a at xx box, from bare sediment (mg m⁻² h⁻¹)
-

(The next column exist only in R or MATLAB ** typicald ** script)

25. DO_sed at xx box, lower (mg l⁻¹ h⁻¹)
-

Columns in file **xxBPML.out**

1. jday (2:nsdays)
 2. PNPd at xx box, lower ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 3. PRd at xx box, lower ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 4. BNPd_v at xx box, lower, per vol., *C. prolifera* ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 5. BRd_v at xx box, lower, per vol., *C. prolifera* ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 6. BNPd_a at xx box, lower, per area, *C. prolifera* ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 7. BRd_a at xx box, lower, per area, *C. prolifera* ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 8. BNPd_v at xx box, lower, per vol., *A. corallinum* ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 9. BRd_v at xx box, lower, per vol., *A. corallinum* ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 10. BNPd_a at xx box, lower, per area, *A. corallinum* ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 11. BRd_a at xx box, lower, per area, *A. corallinum* ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 12. BNPd_a at xx box, sediment, per area ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
 13. BRd_a at xx box, sediment, per area ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
-

Columns in file **xxPMU.out**

1. jday (2:nsdays)
 2. PNPd at xx box, upper ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 3. PRd at xx box, upper ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 4. DO_ae_d at xx box, upper ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 5. DO_hyd_d at xx box, LOWER! ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 6. DO_hyd_d at xx box, upper! ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 - (7).DO_imp_d FOR BOCA ONLY! boPMU.out, lower ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
 - (8).DO_imp_d FOR BOCA ONLY! boPMU.out, upper ($\text{mg l}^{-1} \text{d}^{-1}$)
-

Columns in file **flows.out** (acording to *Figura 1.4a* of this thesis)

1. month
 2. F01 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 3. F12 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 4. F23 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 5. F34 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 6. F45 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 7. F56 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 8. F67 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 9. F16 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 10. F25 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 11. E16 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 12. E25 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 13. E34 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
-

Columns in file **xxDOC.out**

1. jtime (24:nshours)
 2. DOC at xx box, lower (ppm)
 3. DOC at xx box, upper (ppm)
 4. DOChyd at xx box, lower (ppm h⁻¹)
 5. DOChyd at xx box, upper (ppm h⁻¹)
-

Columns in file **xxSALIN.out**

1. jtime (24:nshours)
 2. S at xx box, lower (g l⁻¹)
 3. S at xx box, upper (g l⁻¹)
 4. Shyd at xx box, lower (g l⁻¹ h⁻¹)
 5. Shyd at xx box, upper (g l⁻¹ h⁻¹)
-

Columns in file **rsed.out**

1. month
 2. rsed_a hourly value, per area (mgO2 m⁻² h⁻¹)
 3. rsed_v hourly value, per vol. (mgO2 l⁻¹ h⁻¹), box 1
 4. rsed_v hourly value, per vol. (mgO2 l⁻¹ h⁻¹), box 2
 5. rsed_v hourly value, per vol. (mgO2 l⁻¹ h⁻¹), box 3
 6. mphbGP hourly value, per area (mgO2 m⁻² h⁻¹)
-

Columns in file **o2balanc.out**

(explained inside file)

Columns in file **gprIndex.out**

(GP:R, also equivalent to internal variable cm_index)

1. jday (2:nsdays)
 2. gpr in Boca , for benthos (unitless)
 3. gpr in Mig , for benthos (unitless)
 4. gpr in Kua , for benthos (unitless)
 5. gpr in ALFACS, for benthos (unitless)
 6. gpr in Boca , for plankton (unitless)
 7. gpr in Mig , for plankton (unitless)
 8. gpr in Kua , for plankton (unitless)
 9. gpr in ALFACS, for plankton (unitless)
 10. gpr in Boca , for bent&plank (unitless)
 11. gpr in Mig , for bent&plank (unitless)
 12. gpr in Kua , for bent&plank (unitless)
 13. gpr in ALFACS, for bent&plank (unitless)
-

Columns in file **topo.out**

1. box number
 2. vol Volume of box (m³)
 3. sedsur Surface of box in contact with sediment (m²)
 4. aairsur Surface of box in contactwith air (m²)
 5. z_ini Initial depth of box (m)
 6. z_end Final depth of box (m)
-

Columns in file **macss.out**

1. jtime (24:nshours)
 2. Fss at bo box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (%)
 3. Fss at bo box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (%)
 4. Fss at mi box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (%)
 5. Fss at mi box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (%)
 6. Fss at ku box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (%)
 7. Fss at ku box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (%)
 8. MNPDss at bo box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 9. MNPDss at bo box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 10. MNPDss at mi box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 11. MNPDss at mi box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 12. MNPDss at ku box, lower, for sp 1: *C. prolifera* (mg l⁻¹ h⁻¹)
 13. MNPDss at ku box, lower, for sp 2: *A. corallinum* (mg l⁻¹ h⁻¹)
-

Columns in file **runerror.out** (for selfshading algorith 1)

1. err from 1 to 3 (explanation inside file)
 2. jday
 3. shour
 4. box
 5. sp
 6. iwz4
 7. biom
 8. Fss_
-

Columns in file **iwz_surfer.out**

1. jday (2:nsdays)
 2. depth (depth, from 0 to -6m)
 3. iwz (in microE m⁻² s⁻¹)
-

Columns in file **reflexio.out**

-
1. jday (2:nsdays)
 2. hour (1 to 24)
 3. shour (1 to nshours)
 4. Rhour ($W m^{-2}$)
 5. ref (%)
 6. ref_srough(% , included surface roughness of wind shear)
 7. ws ($m s^{-1}$)
-

D.1.3. Basic description of the main program (for newbies)Prog. main

- Declaration of variables
- ABOM presentation in screen
- Ask user for dates of simulation
- Ask user to include hydrodyn.
- Ask user for macroalgae selfshading algorithym
- Assign memory for dinamic variables
- Open input files
- Open output files
- Parameter inicialization and boundary conditions(from inside code)
- Set n. of spp-code groups to 5 (2 macroalgae, 1 sed., 1 phytop., 1 DBO5)

Temporal loop(hours). do shour=12,nshours

- Update time counters

Spatial loop. do nbox=1,6**BIOLOGICAL PROCESSES**

- Lower Box? (nbox=1,3)

Lower layer (nbox=1,3)

- Call light_extinction()
- Call Benthos()
- Save hourly values (calculated in subroutine) into daily var., in prog. main (dummy loop nbox=1,3)
- Call Plankton()
- Save hourly values...

Upper layer (nbox=4,6)

- Call plankton()
- Save hourly values...

PHYSICAL PROCESSES

- Wind_aeration()
- Difussion

STATE VAR. TEMPORAL UPDATE

- Update state var. for non-conservative processes (biological & chemical...).

Go back to (or end) spatial loop

- hydrostatic?
- if NO:
- Call Advect()
- Call Echange()
- Save changes from dummy var. into DOhyd
- Update state vars. due to hydrod.
- Check for formation of bubbles

Go back to (or end) temporal loop (shour)

- Save results in files
- Close files
- Deallocate dynamic memmory

SUBROUTINES

- officer(), light_extinction(), plankton(), benthos(), advect(), exchange()

End_of_program_main

D.1.4. Editing the source code using free software

There are some good documentation out there to learn how to take profit from Fortran programming (Sun Microsystems 1995), even in some new sources in Catalan (Paniagua Valle and Solè Sabaté 2007).

And there are also some good free software tools for the daily work with Fortran Programming.

First, the *compiler*: either GFortran (<http://gcc.gnu.org/fortran>, the one used to produced the binaries in this Ph.D. thesis), or G95 (<http://www.g95.org>), which is kind of another variant of the same software, and both are the Fortran compilers from the GNU mother project (<http://gnu.org>). If you are an advanced Fortran user, you would be interested to know that there are possibilities to create Graphical User Interfaces (GUI) to your Fortran programs when using external tools like JAPI (<http://www.japi.de/>, Java based, described in Fortran Company 2005), or pilib (<http://pilib.beta-centauri.de>); however, this is task for only advanced users, and

not needed at all for basic programs to run under a shell and produce the output files with results (like OMMEL does by the time of this writing).

Second, there are many a good text editor, or even better, an Integrated Desktop Environment (IDE) to ease the task of editing source code files, with search (or even search and replace) capabilities in several files for the same text string, even if not all of them are ready to be coupled with programming in Fortran. Photran is a free software java based IDE for programming in almost whatever language, based on Eclipse IDE (<http://www.eclipse.org/photran/>). However, this is way too much difficult as the place to start with, and if you are starting as a programmer, then a simple and fast multiplatform text editor recognizing Fortran syntax like Geany (<http://geany.uvena.de/>) or a more advanced IDE like Code::Blocks (<http://www.codeblocks.org>) would do. These three examples are available free software under the GNU/Linux and MS Windows operating systems.

Moreover, once your program has produced your calculations and mass balances, and written results to output files, you might like to use specialized software for statistical analyses and visualization of data. There are many good alternatives out there (again, free software, and multiplatform), like R-project for statistical computing ("R", <http://www.r-project.org>), Octave (<http://www.octave.org>), SciLab (<http://www.scilab.org>), Numerical Python (<http://numpy.scipy.org>), Gnuplot (<http://www.gnuplot.info>), and there is also some documentation to help you translate your code among them and also from *Matlab* (Bronken Gundersen 2006), which is the alternative closed source and expensive program to do similar tasks. Among those free software tools, we have chosen R-project to make some scripts which automate the production of graphs and basic statistics upon OMMEL results and other ecological modeling software like FEMME (Soetaert *et al.* 2002), since the gallery of statistics and graphs produced by R and contributed by users around the globe is enormous (<http://addictedtor.free.fr/graphiques/>), and new extensions are apparently easily created (<http://cran.r-project.org/doc/vignettes/femmeR/femmeR.pdf>). R-project is a command line program (see screenshots above calling R after an OMMEL run is executed), very well documented for any user starting with good guides oriented to novice users on R environment, commands and graphs (Correa and González 2002, González *et al.* 2000, Paradis and Ahumada 2003, Venables *et al.* 2000). Moreover, R is having some good software companions to bring Graphical User Interfaces to ease the task for the new user to interact with R, being improved year after year, and thus, reducing the need to learn too many new command line instructions at a time. Among those GUI's that interact nicely with R we recommend RKward (<http://rkward.sourceforge.net>), under GNU/Linux (Figura D.5), and SciViews (<http://www.sciviews.org>), under MS Windows (Figura D.6), which comes with Tinn-R editor inside (<http://www.sciviews.org/Tinn-R/>).

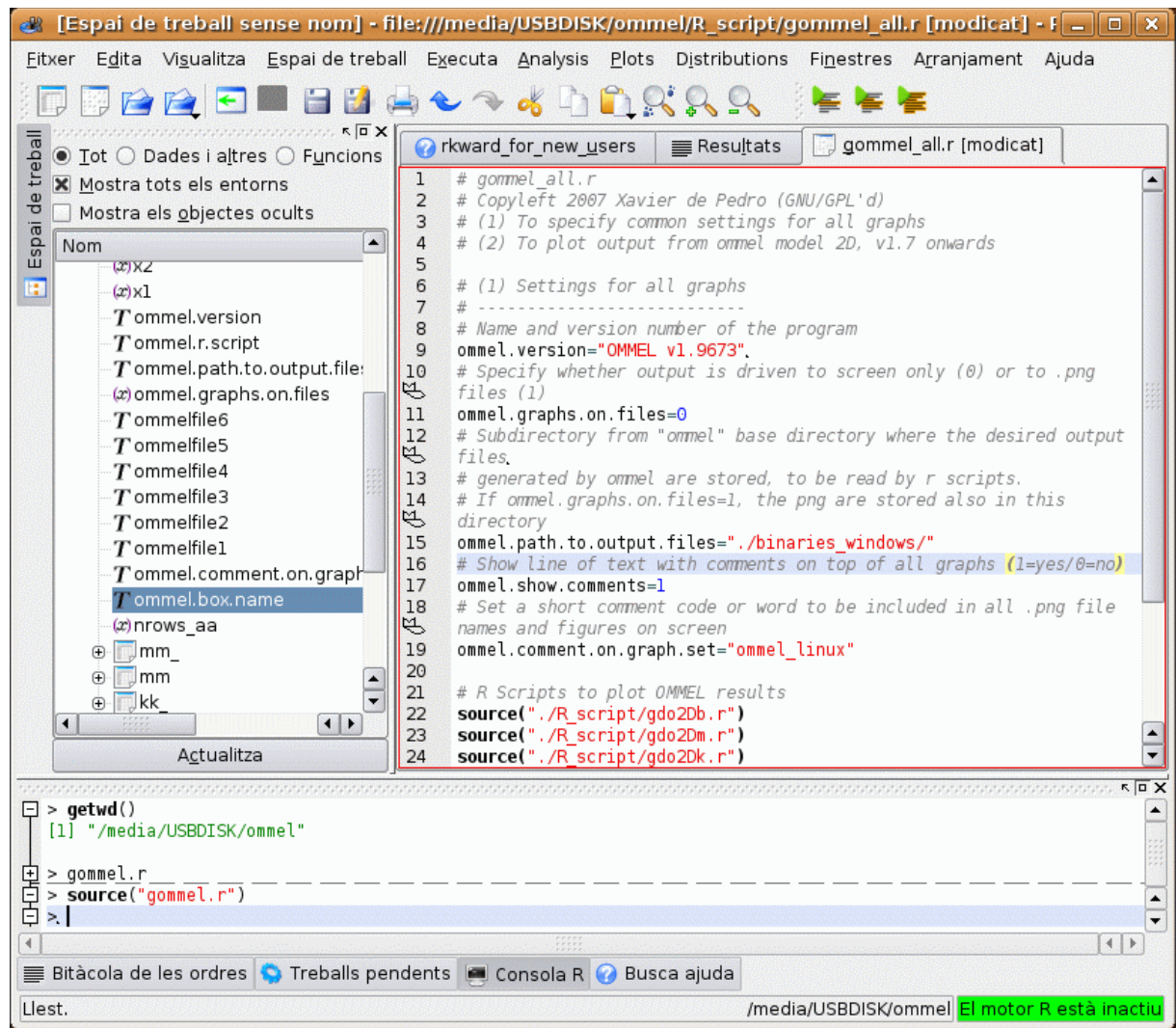


Figura D.5. Editing "R" scripts to produce graphs upon OMMEL results, using RKWard under GNU/Linux.

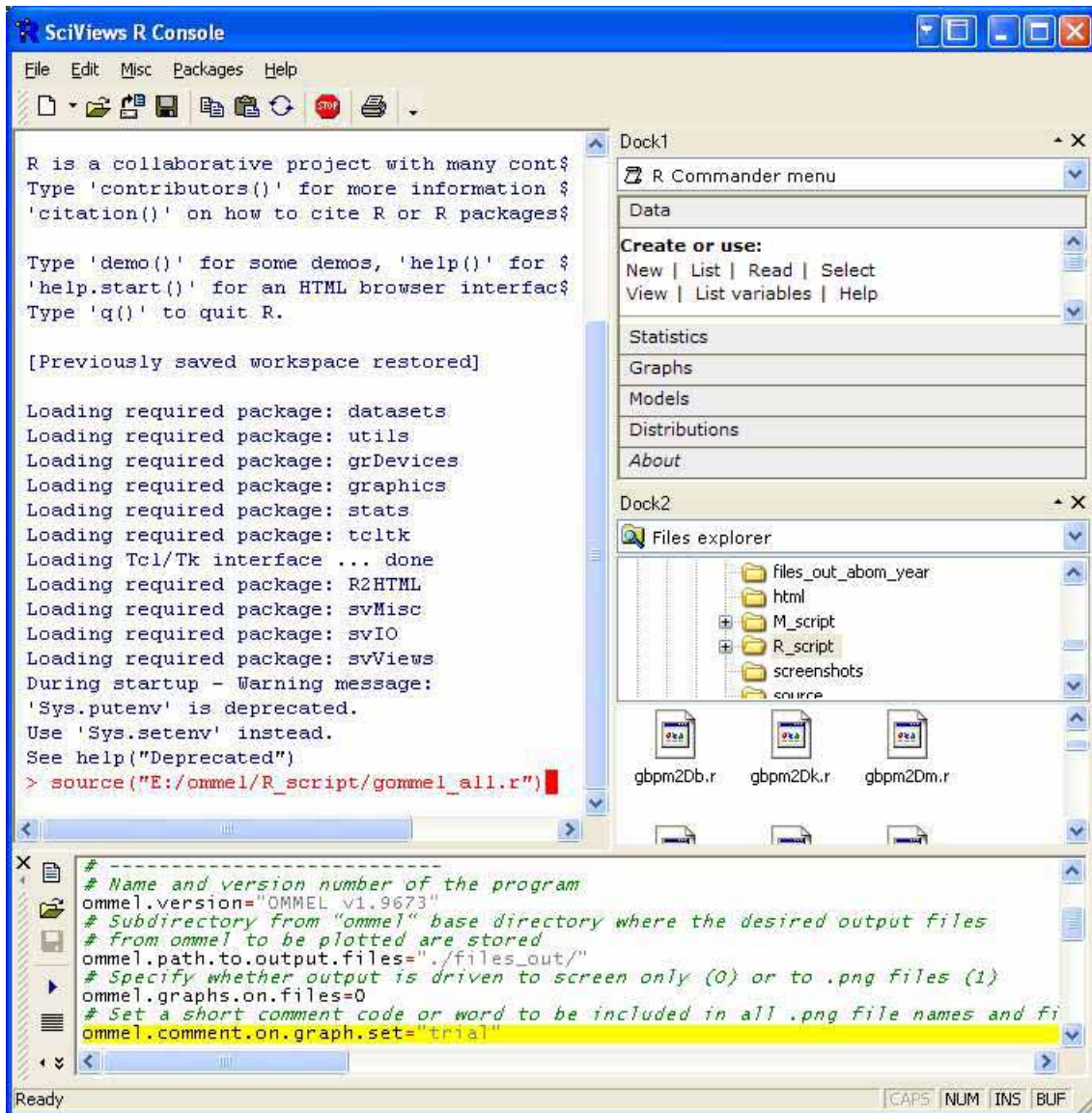


Figura D.6. Editing “R” scripts to produce graphs upon OMMEL results, using SciViews and Tinn-R under MS Windows.

D.1.5. Compiling the source code using free software

In order to compile OMMEL source code, you can execute the following commands one by one, or through the provided *ommel_compile.bat* script (the same file works either from GNU/Linux or MS Windows , at least if using GNU/Gfortran as compiler, and probably using any other Fortran 90 compiler). See specific comments inside this file, which explain the compiling options needed in order to compile successfully.

```
# ommel_compile.bat
# Script to compile OMMEL: Oxygen Model for Microtidal Estuaries and Lagoons
# Xavier de Pedro - Ecology Department - University of Barcelona
# http://sf.net/projects/ommel
#
# Thanks to Albert Solé for his help to produce this file including
# the tips for the non-common compilation options.
#-----
# Comments:
# 1.- The first file to be compiled is ommel_glb.f90, so that ommel_glb.mod is
#     generated, where global variables are defined
# 2.- The file ommel_out.f90 needs the compiler option
#     -ffree-line-length-none ; otherwise only the first 132 characters of each
#     line are taken into account
# 3.- Option -c indicates at compilation time the the corresponding
#     object file (.o) is generated
# 4.- Option -o indicates that the linking of object files is performed
#     in order to generate the executable
# 5.- In order to call this file that makes compilation and linking you only
#     need to start a shell under a GNU/Linux or similar system (or command
#     console under a M$ Windows environment), change directory to where the .f90
#     files and this file are stored, write this file name and press intro.
#     (if this file is not executed, try doing: chmod a+x compile_file_name
#     and if it still resists itself to execute, try writing ./compile_file_name )
# 6.- In order to run the executable file produced (ommel), you only need to write
#     its name and press intro (or if it says it can't find it, write ./ommel )
#-----
# These two files are deleted if they exist; GNU/Linux
rm -f ommel
rm -f ommel_glb.mod

# Equivalent in some proprietary software
del ommel.exe
del ommel_glb.mod

# Object files are deleted; GNU/Linux
rm -f *.o
```

```
# Equivalent in some proprietary software
del *.o

# Individual compilations
gfortran -c ommel_glb.f90
gfortran -c ommel_bnt.f90
gfortran -c ommel_cal.f90
gfortran -c ommel_hyd.f90
gfortran -c ommel_ini.f90
gfortran -c -ffree-line-length-305 ommel_out.f90
gfortran -c ommel_plk.f90
gfortran -c ommel_ule.f90
gfortran -c ommel_ver.f90
gfortran -c ommel_wae.f90
gfortran -c ommel.f90
gfortran -c gemm_utils.f90
# Producing the executable file
gfortran -o ommel *.o
```

When finished compiling, you will have the binary file under “./source” directory. You can execute it from there, or move it to the “./bin” directory.

D.1.6. Showing the code as html with “Fortran” or “R” mark up.

If you ever plan to show your source code through something like a web page or printed in paper, you would like it to be somehow colorized, as it is colorized in most programming editors or IDE's). In this case, you can use a free software tool called *source-highlight* (<http://www.gnu.org/software/src-highlite/source-highlight.html>). It is included with OMMEL for the MS Windows, since it might not be easy for the novice user to find and install it, and both share the same GNU/GPL license.

The commands to execute this program are written in the script “*ommel_beautify_html.bat*”, provided inside OMMEL “*./source*” directory. Again, the same file works either from GNU/Linux or MS Windows, provided you have the *source-highlight* installed within OMMEL, in case of Windows, or from your GNU/Linux software repositories, through “*apt-get install source-highlight*”, (for Debian – Ubuntu, ... based), “*yum install source-highlight*” (for Fedora core based), or similar, depending on your GNU/Linux distribution). Since “R” markup is not yet included in *source-highlight* software, we'll use *python* markup instead, which will do the job instead as if it was an “R” high-lighter:

```
# Calls to source-highlight on a GNU/Linux environment
source-highlight --input=ommel.f90 --output=./html/ommel.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_bnt.f90 --output=./html/ommel_bnt.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_cal.f90 --output=./html/ommel_cal.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_glb.f90 --output=./html/ommel_glb.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_hyd.f90 --output=./html/ommel_hyd.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_ini.f90 --output=./html/ommel_ini.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_out.f90 --output=./html/ommel_out.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_plk.f90 --output=./html/ommel_plk.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_ule.f90 --output=./html/ommel_ule.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_ver.f90 --output=./html/ommel_ver.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=ommel_wae.f90 --output=./html/ommel_wae.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=gemm_utils.f90 --output=./html/gemm_utils.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n

# Calls to source-highlight on a win32 environment (the folder below must contain a copy of source-highlight.exe,
# and of all files originally under "c:/Program Files/GnuWin32/share/source-highlight/"
cd "./source-highlight_win32"
source-highlight --input=./source/ommel.f90 --output=./html/ommel.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_bnt.f90 --output=./html/ommel_bnt.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_cal.f90 --output=./html/ommel_cal.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_glb.f90 --output=./html/ommel_glb.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_hyd.f90 --output=./html/ommel_hyd.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_ini.f90 --output=./html/ommel_ini.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_out.f90 --output=./html/ommel_out.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_plk.f90 --output=./html/ommel_plk.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_ule.f90 --output=./html/ommel_ule.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_ver.f90 --output=./html/ommel_ver.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/ommel_wae.f90 --output=./html/ommel_wae.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
source-highlight --input=./source/gemm_utils.f90 --output=./html/gemm_utils.html --src-lang=fortran --out-format=html -v -d -n
cd "./source"
```

D.2. Source code

OMMEL source code comprises several files (alphabetically sorted):

Name	Description
gemm_utils.f90	some functions used in several Fortran programs of the GEMM research group
ommel_bnt.f90	routines related to benthos processes
ommel_cal.f90	routines related to calculations for mass balances
ommel.f90	main program
ommel_glb.f90	global variables definition
ommel_hyd.f90	routines related to hydrodynamics
ommel_ini.f90	routines related to initialization of variables
ommel_out.f90	routines related to writing output results to files
ommel_plk.f90	routines related to plankton processes
ommel_ule.f90	routines related to underwater light extinction
ommel_ver.f90	routines related to describing software version
ommel_wae.f90	routines related to wind aeration

We will list the files below, including its content, sorted in a way more related to the sequence in which they are used in the program.

1. **ommel.f90: The program first calls the instructions written in main program**
2. **ommel_glb.f90: It needs the definition of the global variables**
3. **ommel_ver.f90: It writes a file with details about the software version**
4. **ommel_ini.f90: It initializes variables**
5. **ommel_ule.f90: It takes into account underwater light extinction**
6. **gemm_utils.f90: It requires some common functions in a special file**
7. **ommel_bnt.f90: It takes into account benthos processes**
8. **ommel_plk.f90: It takes into account plankton processes**
9. **ommel_wae.f90: It takes into account wind aeration processes**
10. **ommel_hyd.f90: It takes into account hydrodynamics**
11. **ommel_cal.f90 : It makes calculations for the mass balances**
12. **ommel_out.f90 : It saves results in output files**

Note:

There is folder in OMMEL project files called “sources”, which contains the files with the Fortran source code, plus another folder called “html”, which contains a colored version of the files viewable with a web browser and also showing the line numbers, in case the reader doesn't have any good source code editor available when reviewing OMMEL source code. Line numbers (with three digits + colon + space; e.g., “001: “) have been inserted at the beginning of each line of the code of these html files to ease potential referring of any line (thanks to “Source-highlight”, another nice multiplatform tool from the GNU project: <http://www.gnu.org/software/src-highlite/source-highlight.html>).

Digital version of source code doesn't have these prefix characters at the beginning of each line (see <http://sf.net/projects/ommel>).

D.3. Sample input files

D.3.1. light.in

Irradiance in $W\ m^{-2}$, every $\frac{1}{2}$ h. Rows are days from 1 to 365. Shown only the first and last 3 rows of the file.

16	16	16	16	16	16	17	16	17	16	17	17	17
	17	17	16	14	6	6	51	90	92	226	282	282
	286	245	291	275	197	151	137	79	19	7	15	16
	17	17	17	16	16	16	16	17	16	16	16	
16	16	16	16	16	17	16	17	16	16	17	17	16
	16	16	16	16	14	11	8	5	5	19	44	42
	172	304	290	270	241	202	157	106	34	6	15	17
	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
17	16	16	16	17	16	16	16	16	17	17	17	17
	17	17	16	16	11	6	24	58	150	269	197	307
	313	310	298	276	266	209	162	119	45	8	14	16
	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
(...row 4 to 362...)												
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	17	17	17	14	18	20	92	166	209	244	264	268
	283	190	302	257	228	135	138	41	10	4	15	16
	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	17	17	16	16	12	7	32	44	89	110	86	93
	60	118	90	67	18	12	12	5	5	10	15	16
	16	16	16	17	16	16	17	17	17	17	17	
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	17	17	17	15	10	10	12	6	12	23	40	85
	102	148	58	38	24	30	40	28	12	8	15	15
	15	16	16	16	16	17	17	17	17	16	17	

D.3.2. k.in

Light extinction coefficient (K_z , in m^{-1}) in the water column, for the Beer-Lambert equation (negative exponential function). This is fake input data, just to illustrate type and format of data needed.

The three columns refer to sampling stations Boca, Mig and Kua, respectively.

$$I(z)=I_0 e^{-Kz}$$

0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50

0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50
0.50	0.50	0.50

D.3.3. param.in

Parameters and other things..., monthly. This is fake input data, just to illustrate type and format of data needed.

Columns stand for:

**PmC PmA IsatC IsatA IcC Ica ISATphy DOini1 DOini2 DOexF
DOCini1 DOCini2 DOCexF Rsed.**

See description on “Taula 6.1” of this Ph.D. Thesis.

Rows are for months from January (1) to December (12).

2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0
2.0	1.0	100	150	10	5	100.0	7.5	8.5	7.0	1.0	1.0	1.0	50.0

PmC PmA IsatC IsatA IcC Ica ISATphy DOini1 DOini2 DOexF DOCini1 DOCini2 DOCexF Rsed

D.3.4. biom.in

Biomasses and other things..., monthly. This is fake input data, just to illustrate type and format of data needed.

Columns 1 to 6 refer to macroalgae biomass from *Caulerpa prolifera* and *Alsidium corallinum* in the three compartments (g DW m⁻²).

Columns 7 and 8 refer to [Chl a] from Phytoplankton in general, as it is used in OMMEL (mg Chl a m⁻³), for the deep layer (ChlaF) and for the surface layer (ChlaS).

Rows are for months from January (1) to December (12).

10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
10.0	10.0	0.00	0.00	10.0	10.0	5.00	5.00
caub	cauc	cauk	alsb	alsc	alsk	ChlaF	ChlaS

D.3.5. ts.in

Temperature (C) & salinity (psu) at each box, monthly, in two pairs of data sets.

!-----!

1st data set corresponds to average values for each layer and month .

Water temperature in °C. 12 rows, one for each month: from January (1) to December (12) .

Columns correspond to stations:

boF miF kuF kuS miS boS .

Salinity in psu. 12 rows, one for each month: from January (1) to December (12) . Columns correspond to stations:

sal(0) sal(1) sal(2) sal(3) sal(4) sal(5) sal(6)

!-----!

2nd data set (only three columns) corresponds to values in surface water each month

Water temperature in °C. 12 rows, one for each month: from January (1) to December (12) .

Columns correspond to stations:

srfBoca srfMig srfKua

Salinity in psu. 12 rows, one for each month: from January (1) to December (12)

Columns correspond to stations:

srfBoca srfMig srfKua

12.20	11.90	11.50	11.30	11.20	11.10	
13.42	13.48	13.32	13.45	13.30	13.15	
14.63	15.05	15.13	15.60	15.40	15.20	
16.47	16.78	17.27	17.50	17.20	17.17	
19.07	19.27	19.91	20.89	20.94	20.89	
21.67	21.75	22.55	24.27	24.67	24.60	
23.40	23.43	23.60	24.07	24.10	23.60	
23.99	24.12	24.55	24.65	24.10	23.97	
24.57	24.80	25.50	25.23	24.10	24.33	
24.50	23.90	24.80	25.00	24.60	24.70	
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.7	37.2	36.6	35.6	34.4	34.9	35.1
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
37.8	37.5	37.1	36.2	34.9	34.2	34.4
10.0	10.0	10.0				
13.3	13.0	13.3				
15.0	15.3	15.5				
17.5	17.8	19.2				
21.1	21.4	22.2				
24.8	25.0	25.2				
23.8	24.1	24.3				
23.2	23.4	23.5				
22.6	22.7	22.7				
23.6	23.0	23.6				
17.8	17.6	17.7				
13.0	13.0	13.0				
34.6	34.3	34.0				
34.2	33.6	32.9				
35.1	34.7	34.6				
35.2	34.7	34.5				
35.0	34.5	34.6				
34.7	34.3	34.7				
35.1	33.9	33.4				
35.1	34.1	33.1				
35.0	34.3	32.8				

36.0	34.3	34.9
35.9	35.7	35.4
35.0	35.0	35.0

D.3.6. dboh.in

Biochemical oxygen demand, per hour. DBOh(mg O₂ l⁻¹ h⁻¹). This is fake input data, just to illustrate type and format of data needed.

12 rows, one for each month: from January (1) to December (12)

-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500	-0.01500
boF	miF	kuF	kuS	miS	boS

D.3.7. ws97h.in

Wind speed (m s⁻¹), hourly values for the whole year (8760 rows). Shown only the first and last 3 rows of the file.

2.6
2.4
2.2
(...skipped from row 4 to 8757...)
1.9
1.4
1.3

D.3.8. inflows.in

Freshwater flows (F_{dgl}, F_{enc}, F_{ala}, F_{dep}) monthly, in m³ s⁻¹, arriving to the bay through boxes "Boca", "Mig", "Kua", "Dep" (Waste treatment plant), respectively . The same order is used below to sort columns.

12 rows, one for each month: from January (1) to December (12)

1.16	1.16	1.16	0.02315
1.16	1.16	1.16	0.02315
1.16	1.16	1.16	0.02315

1.16	1.16	1.16	0.02315
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
4.00	2.00	4.00	0.11574
1.16	1.16	1.16	0.02315
1.16	1.16	1.16	0.02315

D.4. Sample output files

D.4.1. o2masbal.out

OMMEL vers.	hydrostatic?	jday_ini	jday_end	nsdays	selfshade?		
1.9672	n	64	67	4	2		

TOPOGRAPHY							

	Boca	Mig	Kua	SUM	ALFACS		
SED_SUR (m2)	0.12100E+08	0.91000E+07	0.10800E+08	0.32000E+08			
AIR_SUR (m2)	0.15000E+08	0.13000E+08	0.16000E+08	0.44000E+08			
VOL_low (m3)	0.32100E+08	0.27000E+08	0.25000E+08	0.84100E+08			
VOL_upp (m3)	0.36000E+08	0.28000E+08	0.33000E+08	0.97000E+08			
VOL_SUM (m3)	0.68100E+08	0.55000E+08	0.58000E+08	0.18110E+09			

MASS BALANCE							

(in a year)							
ECOS.METAB.	Boca	Mig	Kua	ALFACS	BAY	lower	upper
	mgO2	mgO2	mgO2	mgO2		mgO2	mgO2
NET GAINS	0.91119E+13	0.68991E+13	0.85782E+13	0.24589E+14		0.15730E+14	0.88591E+13
LOSSES	-0.14442E+14	-0.11385E+14	-0.12349E+14	-0.38176E+14		-0.25467E+14	-0.12709E+14
GROSS GAINS	0.23554E+14	0.18284E+14	0.20927E+14	0.62765E+14		0.41197E+14	0.21568E+14

PROCESS	mgO2	mgO2	mgO2	mgO2		mgO2	mgO2
plankton_np	0.16740E+14	0.13338E+14	0.16032E+14	0.46109E+14		0.14451E+14	0.31658E+14
cau_np	0.15835E+12	0.11696E+12	0.00000E+00	0.27531E+12			
als_np	0.00000E+00	0.74545E+11	0.11050E+12	0.18505E+12			
sedim_gp	0.30133E+12	0.22662E+12	0.29051E+12	0.81847E+12			
o2m_aeration	-0.80873E+13	-0.68571E+13	-0.78547E+13	-0.22799E+14			

plankton_r	-0.89228E+13	-0.72064E+13	-0.75995E+13	-0.23729E+14		-0.11019E+14	-0.12709E+14
cau_r	-0.23487E+12	-0.17664E+12	0.00000E+00	-0.41152E+12			
als_r	0.00000E+00	-0.27410E+11	-0.32530E+11	-0.59940E+11			
sedim_r	-0.52847E+13	-0.39744E+13	-0.47169E+13	-0.13976E+14			

o2m_import	mgO2						
Boca lower	0.18807E+14						
Boca upper	-0.28153E+14						

GROSS_P/RESP	Boca	Mig	Kua	Alfacs			
	unitless	unitless	unitless	unitless			
Benthos	0.1	0.1	0.0	0.1			
Plankton	2.9	2.9	3.1	2.9			
Plank&Bent	1.8	1.8	1.9	1.9			

MEANSxMONTH							

	microE/m2/s	microE/m2/s	m/s	mg/l/d	mg/l/d	mg/l/d	...
month	Iwz0	Iwz3	Wspeed	PNPmiF	PNPmiS	PRmiF	...

1	0.17003E+03	0.10870E+02	0.25282E+01	-0.12672E+00	0.41091E+00	-0.35468E+00	...
2	0.36924E+03	0.23605E+02	0.25539E+01	0.34952E+00	0.76381E+00	-0.36000E+00	...
3	0.49500E+03	0.31644E+02	0.28358E+01	0.56903E+00	0.96473E+00	-0.36000E+00	...
4	0.51357E+03	0.32831E+02	0.37176E+01	0.52889E+00	0.10178E+01	-0.36000E+00	...
5	0.60154E+03	0.38455E+02	0.31149E+01	0.67656E+00	0.11841E+01	-0.36000E+00	...
6	0.60984E+03	0.38986E+02	0.26371E+01	0.67111E+00	0.12533E+01	-0.36000E+00	...
7	0.68663E+03	0.43895E+02	0.24680E+01	0.82710E+00	0.12529E+01	-0.36000E+00	...
8	0.60990E+03	0.38990E+02	0.19714E+01	0.71527E+00	0.10766E+01	-0.36000E+00	...
9	0.48889E+03	0.31254E+02	0.18390E+01	0.56000E+00	0.97778E+00	-0.36000E+00	...
10	0.38612E+03	0.24684E+02	0.26880E+01	0.37118E+00	0.80129E+00	-0.36000E+00	...
11	0.24862E+03	0.15894E+02	0.27517E+01	0.57778E-01	0.61778E+00	-0.36000E+00	...
12	0.18341E+03	0.11725E+02	0.27938E+01	-0.45538E-01	0.38887E+00	-0.35952E+00	...
	mg/m2/d	mg/m2/d	mg/m2/d	mg/m2/d	mg/d	mg/d	...
month	BGPsed_bo	BGPsed_mi	BGPsed_ku	BRsed_any	o2m_np_pl_miF	o2m_np_pl_miS	...
1	0.41116E+02	0.41116E+02	0.46899E+02	-0.12000E+04	-0.34214E+10	0.11506E+11	...
2	0.54157E+02	0.54157E+02	0.56025E+02	-0.12000E+04	0.94371E+10	0.21387E+11	...
3	0.62893E+02	0.62893E+02	0.67230E+02	-0.12000E+04	0.15364E+11	0.27012E+11	...
4	0.58764E+02	0.58764E+02	0.65736E+02	-0.12000E+04	0.14280E+11	0.28498E+11	...
5	0.73495E+02	0.73495E+02	0.77109E+02	-0.12000E+04	0.18267E+11	0.33154E+11	...
6	0.50965E+02	0.50965E+02	0.53590E+02	-0.12000E+04	0.18120E+11	0.35093E+11	...
7	0.54024E+02	0.54024E+02	0.56226E+02	-0.12000E+04	0.22332E+11	0.35081E+11	...
8	0.49790E+02	0.49790E+02	0.53685E+02	-0.12000E+04	0.19312E+11	0.30144E+11	...
9	0.13422E+03	0.13422E+03	0.14135E+03	-0.12000E+04	0.15120E+11	0.27378E+11	...
10	0.11838E+03	0.11838E+03	0.12371E+03	-0.12000E+04	0.10022E+11	0.22436E+11	...
11	0.82650E+02	0.82650E+02	0.94221E+02	-0.12000E+04	0.15600E+10	0.17298E+11	...
12	0.59201E+02	0.59201E+02	0.69333E+02	-0.12000E+04	-0.12295E+10	0.10888E+11	...
	mg/d	mg/d	unitless	unitless	unitless	unitless	...
month	o2m_imp_U	o2m_ae_miS	GP:R_BENT_bo	GP:R_BENT_mi	GP:R_BENT_ku	GP:R_BENT_ALF	...
1	-0.31977E+11	-0.31892E+10	0.0	0.0	0.0	0.0	...
2	-0.35287E+11	-0.11997E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
3	-0.36652E+11	-0.25078E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
4	-0.32367E+11	-0.29678E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
5	-0.11507E+12	-0.29765E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
6	-0.12002E+12	-0.31163E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
7	-0.12338E+12	-0.28336E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
9	-0.12481E+12	-0.15236E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
8	-0.12576E+12	-0.19685E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
10	-0.11263E+12	-0.16640E+11	0.1	0.1	0.0	0.1	...
11	-0.33702E+11	-0.13029E+11	0.0	0.1	0.0	0.0	...
12	-0.29948E+11	-0.14343E+10	0.0	0.0	0.0	0.0	...

D.5. "R-project" scripts (*.r) to plot some OMMEL results (*.out)

Below there is a list of R scripts used to produced graphs which plot some of the OMMEL results.

Source code from R scripts has been highlighted here with the web service from http://www.alaide.com/outils_colorsyntaxe.php , which uses itself the [GNU Source-highlight](http://www.gnu.org/software/src-highlight/) from Lorenzo Bettini: <http://www.gnu.org/software/src-highlight/>

N	Script name	Goal	Sample graph produced
---	-------------	------	-----------------------

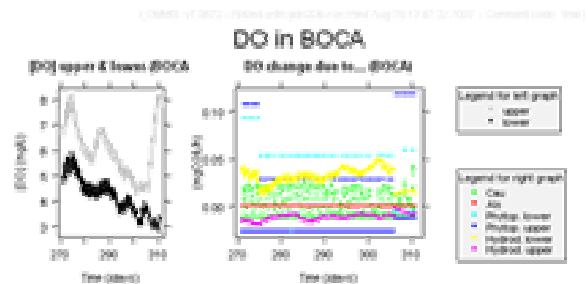
1 gommel_typicald_ common_functions.r

(None)

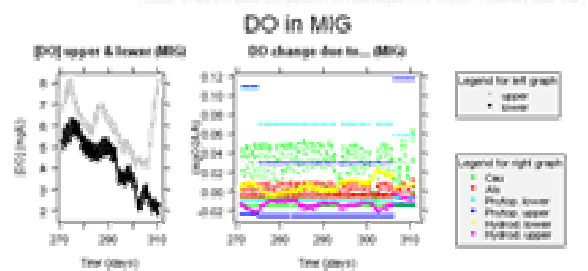
2 gommel_all.r
 (1) Specify common settings for all graphs
 (2) Plot output from OMMEL model 2D, v1.7 onwards

(All the graphs below from the "gommel_" series)

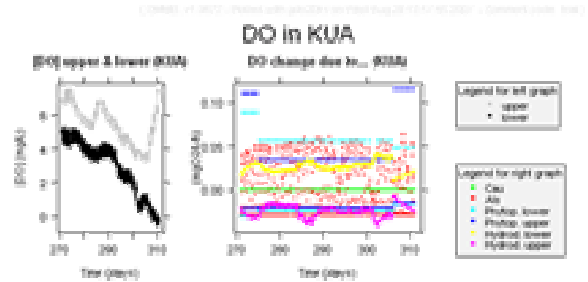
3 gommel_do2Db.r
 Plot DO results 2D for station "BOCA", v1.0 onwards



4 gommel_do2Dm.r
 Plot DO results 2D for station "MIG", v1.0 onwards



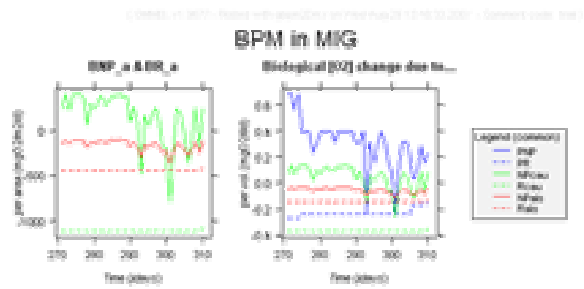
5 gommel_do2Dk.r
 Plot DO results 2D for station "KUA", v1.0 onwards



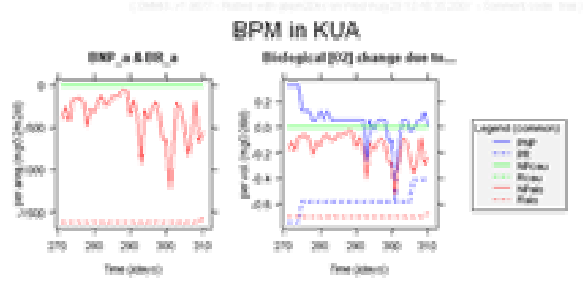
N	Script name	Goal	Sample graph produced
6	gommel_light2D.r	Plot light results 2D, v1.7 onwards	<p>The figure shows two side-by-side plots. The left plot is titled 'Irradiance in depth (µ)' and shows a 2D heatmap of light intensity from 0 to 2000 µmol photons m⁻² s⁻¹ over time (270-310 days) and depth (0-2000 m). The right plot is titled 'PAR (µmol photons m⁻² s⁻¹)' and shows a line graph of PAR over time (270-310 days) for five depths (z=0, 1, 2, 3, 4). A legend for the left graph identifies depths z=0 to z=4. A legend for the right graph identifies 'PAR: upper', 'PAR: lower', 'z=0', 'z=1', 'z=2', 'z=3', and 'z=4'.</p>
7	gommel_windimp.r	Plot hourly values of wind speed and aeration, plus O2 import through bay mouth. v1.81 onwards	<p>The figure shows two side-by-side plots. The left plot is titled 'Hourly mean, at 0-10m' and shows wind speed (m/s) over time (270-310 days). The right plot is titled 'O2 import in BOCA due to...' and shows O2 import (mol O2 day⁻¹) over time (270-310 days) for three categories: 'imp. upper', 'imp. lower', and 'imp. lower'. A legend for the right graph identifies 'wind speed', 'imp. upper', 'imp. lower', and 'imp. lower'.</p>
8	gommel_izws_m.r	Calculate and plot daily means for light and wind speed. v1.81 onwards	<p>The figure shows two side-by-side plots. The left plot is titled 'Irradiance at z=0, z=1, z=2, z=3' and shows daily mean irradiance (µmol photons m⁻² s⁻¹) over time (270-310 days) for four depths. The right plot is titled 'Daily mean' and shows daily mean wind speed (m/s) over time (270-310 days).</p>
9	gommel_doaer.r	Plot DO_aeration results for all stations, 2D, v1.80 onwards	<p>The figure shows a 2x3 grid of plots. The top row shows 'DO rate of change due to Wind aeration' for stations BOCA, MA, and VJA. The bottom row shows 'DO rate of change due to Wind aeration' for stations BOCA, MA, and VJA. Each plot shows DO rate of change (mol O2 day⁻¹) over time (270-310 days).</p>
10	gommel_bpm2Db.r	Plot Benthic and Planktonic metabolism for station "BOCA", 2D, v1.0 onwards	<p>The figure shows two side-by-side plots. The left plot is titled 'BPM in BOCA' and shows benthic and planktonic metabolism (mol O2 day⁻¹) over time (270-310 days). The right plot is titled 'Biological O2 change due to...' and shows biological O2 change (mol O2 day⁻¹) over time (270-310 days). A legend for the right graph identifies 'bpm', 'bpm', 'bpm', 'bpm', 'bpm', 'bpm', and 'bpm'.</p>

N	Script name	Goal	Sample graph produced
---	-------------	------	-----------------------

11 gommel_bpm2Dm.r
 Plot Benthic and Planktonic metabolism for station "MIG", 2D, v1.0 onwards



12 gommel_bpm2Dk.r
 Plot Benthic and Planktonic metabolism for station "KUA", 2D, v1.0 onwards



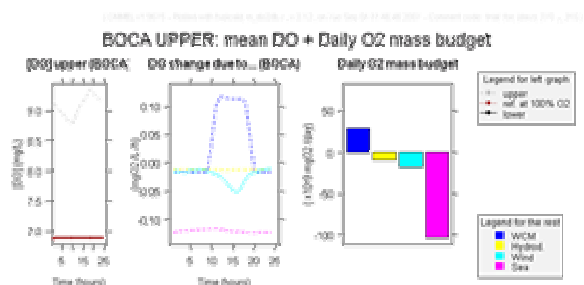
13 typicald_all.r
 Calculate a Typical Day (producing means to each hour of the day for all days in the period), and results saved in files and plotted. From OMMEL 2D, v1.8 onwards

(All the graphs below from the "typicald_" series)

14 typicald_m_common_routines.r
 Common routines to plot graphs of the "typicald_" series upper and lower of all stations BOCA, MIG and KUA.

(none; used in the following typicald_...r script series)

15 typicald_m_do2db.r
 Plot DO results for the BOCA UPPER box (from ommel 2D, v1.80).



N	Script name	Goal	Sample graph produced
		<p>Plot DO results for the BOCA LOWER box (from ommel 2D, v1.80).</p>	<p>BOCA LOWER: mean DO + Daily O2 mass budget</p>
16	typicald_m_do2dm.r	<p>Plot DO results for the MIG UPPER box (from ommel 2D, v1.80).</p>	<p>MIG UPPER: mean DO + Daily O2 mass budget</p>
		<p>Plot DO results for the MIG LOWER box (from ommel 2D, v1.80).</p>	<p>MIG LOWER: mean DO + Daily O2 mass budget</p>
17	typicald_m_do2dk.r	<p>Plot DO results for the KUA UPPER box (from ommel 2D, v1.80).</p>	<p>KUA UPPER: mean DO + Daily O2 mass budget</p>
		<p>Plot DO results for the KUA LOWER box (from ommel 2D, v1.80).</p>	<p>KUA LOWER: mean DO + Daily O2 mass budget</p>

D.6. Bibliography

Bronken Gundersen, V., 2006. MATLAB commands in numerical Python (NumPy). *Matrix comparing commands syntax in Matlab/Octave, Numerical Python, SciLab, Gnuplot, and R.*: 17.

Correa, J. C. and González, N., 2002. Gráficos Estadísticos con R. *Posgrado en Estadística, Universidad Nacional-Sede Medellín*: 299.

Fortran Company, T., 2005. Fortran Tools: 98.

González, A., *et al.*, 2000. Introducción a R. Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos.: 106.

Paniagua Valle, J. C. and Solè Sabaté, A., 2007. Introducció a la programació en Fortran 77. *Textos docents*, 128:

Paradis, E. and Ahumada, J. A., 2003. R para Principiantes: 61.

Soetaert, K., *et al.*, 2002. FEMME, a flexible environment for mathematically modelling the environment. *Ecological Modelling*, 151 177-193.

Sun Microsystems, I., 1995. Fortran 90 User's Guide: 250.

Venables, W. N., *et al.*, 2000. An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics, (Version 2.5.1 (2007-06-27)): 100.

D.7. OMMEL Legal Notice

ENGLISH: Creative Commons: <http://creativecommons.org/licenses/GPL/2.0/>

This page is available in the following languages:

[Afrikaans](#) [Български](#) [Català](#) [Dansk](#) [Deutsch](#) [English](#) [English \(CA\)](#) [English \(GB\)](#) [English \(US\)](#) [Esperanto](#) [Castellano Castellano \(AR\)](#) [Español \(CL\)](#) [Castellano \(MX\)](#) [Euskara](#) [Suomeksi](#) [français](#) [français \(CA\)](#) [Galego](#) [עברית](#) [hrvatski](#) [Maqyar Italiano](#) [Macedonian](#) [Melayu](#) [Nederlands](#) [Sesotho sa Leboa](#) [polski](#) [Português](#) [Português \(PT\)](#) [svenska](#) [slovenski jezik](#) [isiZulu](#)



GNU General Public License, [Free Software Foundation](#)

The GNU General Public License is a [Free Software](#) license. Like any Free Software license, it grants to you the four following freedoms:

0. The freedom to run the program for any purpose.
1. The freedom to study how the program works and adapt it to your needs.
2. The freedom to redistribute copies so you can help your neighbor.
3. The freedom to improve the program and release your improvements to the public, so that the whole community benefits.

You may exercise the freedoms specified here provided that you comply with the express conditions of this license. The principal conditions are:



You must conspicuously and appropriately publish on each copy distributed an appropriate copyright notice and disclaimer of warranty and keep intact all the notices that refer to this License and to the absence of any warranty; and give any other recipients of the Program a copy of the GNU General Public License along with the Program. Any translation of the GNU General Public License must be accompanied by the GNU General Public License.



If you modify your copy or copies of the program or any portion of it, or develop a program based upon it, you may distribute the resulting work provided you do so under the GNU General Public License. Any translation of the GNU General Public License must be accompanied by the GNU General Public License.



If you copy or distribute the program, you must accompany it with the complete corresponding machine-readable source code or with a written offer, valid for at least three years, to furnish the complete corresponding machine-readable source code.

Any of the above conditions can be waived if you get permission from the copyright holder.

Your fair dealing and other rights are in no way affected by the above.

This is a human-readable summary of the Legal Code (the full [GNU General Public License](#)):

<http://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.html>

[Disclaimer](#) 

[Learn how to distribute your work using this license](#)

[Creative Commons](#)

CATALÀ: Creative Commons: <http://creativecommons.org/licenses/GPL/2.0/deed.ca>

Aquesta pàgina també està disponible en els idiomes següents:

[Afrikaans](#) [български](#) [Català](#) [Dansk](#) [Deutsch](#) [English](#) [English \(CA\)](#) [English \(GB\)](#) [English \(US\)](#) [Esperanto](#) [Castellano](#) [Castellano \(AR\)](#) [Español \(CL\)](#) [Castellano \(MX\)](#) [Euskara](#) [Suomeksi](#) [français](#) [français \(CA\)](#) [Galego](#) [עברית](#) [hrvatski](#) [Magyar](#) [Italiano](#) [Macedonian](#) [Melayu](#) [Nederlands](#) [Sesotho sa Leboa](#) [polski](#) [Português](#) [Português \(PT\)](#) [svenska](#) [slovenski jezik](#) [isiZulu](#)



Llicència GNU General Public License de la [Free Software Foundation](#)

La GNU General Public License és una llicència de [programari lliure](#). Com qualsevol llicència de programari lliure, us atorga les llibertats següents:

0. La llibertat d'executar el programa per a qualsevol finalitat.
1. La llibertat per estudiar com funciona el programa i per adaptar-lo a les vostres necessitats.
2. La llibertat de redistribuir-ne còpies per ajudar als vostres veïns.
3. La llibertat per millorar el programa i difondre les millores al públic, per tal que tota la comunitat se'n beneficiï.

Podeu exercir les llibertats especificades aquí sempre que compliu amb les condicions d'aquesta llicència. Les condicions principals d'aquesta llicència són:



En cada còpia que distribuïu, heu de difondre notòriament i apropiadament un avís referent als drets d'autor i una exoneració de responsabilitat, mantenir intactes tots els avisos referents a aquesta llicència i a l'absència de qualsevol garantia; i donar als altres recipients del programa una còpia de la GNU General Public License juntament amb el programa. Qualsevol traducció de la GNU General Public License ha d'estar acompanyada per la GNU General Public License.



Si modifiqueu la vostra còpia o còpies del programa o alguna de les seves parts, o desenvolueu un programa basat en ell, podeu distribuir l'obra resultant sempre amb la GNU General Public License. Qualsevol traducció de la GNU General Public License ha d'anar acompanyada de la GNU General Public License.



Si copieu o distribuïu el programa, heu d'acompanyar-lo del corresponent codi font legible per màquines o un oferiment escrit, vàlid almenys per tres anys, per subministrar el corresponent codi font complet.

Alguna d'aquestes condicions pot no aplicar-se si obteniu el permís del titular dels drets d'autor.

Els drets derivats d'usos legítims o altres limitacions reconegudes per llei no queden afectats per l'anterior

Això és un resum fàcilment llegible del Codi Legal (la [Llicència Pública General de GNU](#) completa). També hi ha disponible [una traducció al portuguès](#).

[Advertiment](#)

[Learn how to distribute your work using this license](#)

Annex E. Llistat de Figures

Annex E. Llistat de Figures

Figura 0.1 Model conceptual sobre com interacciona la hipòxia amb els estadis de successió o la complexitat de l'organització de la comunitat (modificat a partir de Diaz i Rosenberg 1995). L'estadi III és una comunitat madura, l'estadi II és una comunitat transitòria i l'estadi I una comunitat pionera o oportunista (estadis de successió segons Rhoads i Germano 1986). L'escala de temps és relativa, amb l'interval de temps per a la davallada progressiva de l'ecosistema essent dependent del sistema, però els sistemes estudiats per Diaz i Rosenberg (1995) segueixen aquest mateix patró general.....	5
Figura 1.1 Esquema d'un fiord (modificat a partir de Stigebrandt 2001).	16
Figura 1.2 Badia dels Alfacs (Delta de l'Ebre): (a) localització geogràfica del lloc d'estudi amb detall del mapa batimètric, i de les estacions de mostreig "Boca", B, "Mig", M i "Cua", C; (b) imatge de satèl·lit on es poden apreciar les llacunes costaneres de l'Encanyissada (esquerra) i la Tancada (dreta), envoltades de camps d'arròs (parcel·les poligonals) i l'entramat de canals de rec i desguàs de la plana deltaica que vessen a la badia. L'anomenat de vegades "punt central" correspon a l'estació "Mig", M.	21
Figura 1.3 Batimetria dels Alfacs en 3 dimensions.	22
Figura 1.4 Principals canals d'entrada d'aigua dolça. (1. Canal de la <i>Sèquia de l'Ala</i> ; 2. Canal de <i>l'Encanyissada</i> ; 3. Canal del <i>Desguàs General</i> o de <i>Campredó</i> ; E. Encanyissada; T. Tancada; D. Depuradora de Sant Carles de la Ràpita.	23
Figura 1.5 Model de caixes aplicat a la Badia dels Alfacs: (a) compartiments en que es divideix la badia, i noms dels fluxos entre compartiments, segons model de caixes de Officer (1980), i (b) fluxos mitjans durant (b1) <i>canals oberts</i> (maig-novembre) i (b2) <i>canals tancats</i> (desembre - abril). S'assumeix estat estacionari i salinitat i fluxos d'aigua dolça mitjans de cada període de càlcul de fluxos advectionals i d'intercanvi (de Camp, 1994). Unitats: fluxos d'aigua, $\times 10^6 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (fletxes) i salinitat, en psu (valor enmig dels compartiments).....	26
Figura 1.6 Fluxos d'entrada a la badia per sobre del ressalt (F_{01}), estimats pel mètode del model de caixes en estat estacionari (Officer 1980). Veure text per més detalls.....	34
Figura 1.7 Oscil·lació de l'alçada de la columna d'aigua a la badia dels Alfacs: (a) setembre de 1997 (5 dies), (b) setembre-octubre de 1998 (29 dies), (c) novembre-desembre de 1998 (36 dies). Dades de sonda multiparamètrica instal·lada en estació mig fons a 40cm sobre el sediment, corregides per a la pressió atmosfèrica (en el 0 es mostren les dades del gràfic (a) sense corregir). Els valors dels dies julians de (b) i (c) marquen l'inici del dia en qüestió.	35
Figura 1.8 Cabal d'aigua diari total entrat (+) o sortit (-) de la badia dels Alfacs per tal de complir les diferències d'alçada de la columna d'aigua entre dies consecutius enregistrades in situ: (a) setembre de 1997 (3 d), (b) setembre-octubre de 1998 (28 dies), (c) novembre - desembre de 1998 (33 dies). Els valors dels dies julians marquen l'inici del dia en qüestió.....	36

- Figura 1.9 Exemple de registre de velocitat i direcció del corrent per sobre del ressalt d'entrada a la badia: (a) vectors de velocitat del corrent en coordenades geogràfiques estàndard, (b) velocitat absoluta del corrent en la seva direcció corresponent, equivalent a la intensitat del vector de velocitat de corrent (cm s^{-1}), (c) component parcial del corrent (cm s^{-1}) segons la seva base ortogonal estàndard sense rotar, V, en direcció N-S, i (d) igual que (c) però en component U (cm s^{-1}), en direcció E-O. Les dades són mitjanes horàries per al període del 12 de setembre al 8 d'octubre de 1997..... 37
- Figura 1.10 Distribució de les orientacions dels corrents d'aigua mesurats: (a) 12 setembre - 8 octubre 1997, (b) 9 octubre - 12 novembre 1997, (c) 17-22 de setembre 1998, (d) 15-20 octubre 1998, (e) 11 novembre - 9 desembre 1998. S'observa com predominen dues direccions, 70° (d'entrada a la badia) i 250° (de sortida)..... 38
- Figura 1.11 Component V' (al llarg de l'eix principal de la badia) del registre de velocitat del flux d'entrada (cm s^{-1}) mesurat pel correntímetre a Alfacs en l'estació Boca: (a) 12 setembre - 8 octubre 1997, (b) 9 octubre - 12 novembre 1997, (c) 17 setembre - 22 setembre 1998, (d) 15 octubre - 20 octubre 1998, (e) 11 novembre - 9 desembre 1998. Les dades originals són registres cada 10 minuts. Els dies julians són començats a comptar des de l'1 de gener de l'any en qüestió. Valors positius són d'entrada a la badia dels Alfacs, i negatius de sortida. 39
- Figura 1.12 Component U' (a través de l'eix principal de la badia) del registre de velocitat del flux d'entrada (cm s^{-1}) mesurat pel correntímetre a Alfacs en l'estació Boca: (a) 12 setembre - 8 octubre 1997, (b) 9 octubre - 12 novembre 1997, (c) 17 setembre - 22 setembre 1998, (d) 15 octubre - 20 octubre 1998, (e) 11 novembre - 9 desembre 1998. Les dades originals són registres cada 10 minuts. Els dies julians són començats a comptar des de l'1 de gener de l'any en qüestió. Valors positius són en sentit cap a terra ferma, i els negatius, en sentit a la península de la "Punta de la Banyà". 40
- Figura 1.13 Fluxos del corrent net residual diari just per sobre del ressalt d'entrada en direcció al llarg de l'eix principal de la badia (component V'). Valors positius volen dir d'entrada i negatius de sortida. El número de dia julià de l'eix de les ordenades marca l'inici del dia en qüestió. 41
- Figura 1.14 Velocitat i direcció del vent a l'estació meteorològica d'Amposta del DARP. Les dades són mitjanes diàries en 1997 i 1998. 42
- Figura 1.15 Evolucions al llarg de 1997 i 1998 de (a) velocitat del vent mitjana diària (m s^{-1}), (b) Direcció del vent mitjana diària ($^\circ$), (c) Balanç hídric acumulat diari per via atmosfèrica (Precipitació Total menys Evapotranspiració de referència, en mm). Els gràfics de la dreta (x') representen els histogrames de freqüències d'aparició de cada valor, en unitats percentuals. Dades de l'observatori d'Amposta del DARP..... 43
- Figura 1.16 Diferència de pressió atmosfèrica diària en 1997 i 1998: (a) valors mitjans diaris de diferència entre un dia i el del dia anterior (mbar), (a') histograma de freqüències. Dades de l'estació meteorològica d'Amposta del Servei de Meteorologia de Catalunya. 44
- Figura 1.17 Diagrama de dispersió entre el flux net residual diari i la velocitat longitudinal del vent, ambdós eixos mostren les seves components V'. Es mostra la recta de regressió lineal entre ambdues variables: $Y=9.16+2.52X$ ($r=0.47$, $p<0.001$, $n=103$)..... 46

- Figura 1.18 Correlació creuada entre la velocitat V' del vent i la velocitat V' del corrent de fons per sobre del ressalt. Fet a partir de mitjanes horàries de les dades. Cal recordar que la direcció del vent indica d'on ve el vent, i la del corrent cap a on va, raó per la qual els vents V' positius van en sentit oposat al dels corrents V' de fons positius. Valors de correlació positiva indiquen que el vent que bufa en un sentit està potenciant la circulació d'aigua de fons en sentit contrari dins de la mateixa direcció V' d'actuació. 46
- Figura 1.19 Correlació creuada entre la precipitació neta (PPT-Eto) i la velocitat V' del corrent de fons per sobre del ressalt. Fet a partir de mitjanes horàries de les dades. 47
- Figura 1.20 Anàlisi de correlació depenent d'escala (SDC) entre: 1^a sèrie (dalt): velocitat V' del corrent sobre el ressalt, i 2^a sèrie (esquerra): velocitat V' del vent. Les dades són mitjanes horàries de cada variable entre 11 de novembre i 8 de desembre de 1998. Mida del fragment d'escala: 12h. Els dos requadres verticals s'han dibuixat amb l'únic objectiu de ressaltar les àrees del gràfic que corresponen als intervals de temps en que la primera sèrie mostra acoblament amb la segona. Veure text per a més informació sobre el mètode. 48
- Figura 1.21 Anàlisi de la correlació depenent d'escala (SDC) entre: 1a Sèrie (dalt, a), alçada de la columna d'aigua, i 2a Sèrie (esquerra, b), velocitat V' del corrent sobre el ressalt. La freqüència de dades és cada 10 min, entre l'11 i el 19 de novembre de 1998. Mida del fragment d'escala: 2h. S'ha representat també per comoditat d'interpretació dels patrons de l'SDC altres sèries temporals a sota: (c) velocitat U' del corrent, (d) velocitat del vent V' , (e) velocitat del vent U' . Veure text per a més informació sobre el mètode. 49
- Figura 1.22 Anàlisi de la correlació depenent d'escala (SDC) entre: (dalt, a), alçada de la columna d'aigua, (esquerra superior, b), velocitat V' del corrent sobre el ressalt, (esquerra mig, c) velocitat V' del vent, (esquerra inferior, d), velocitat U' del vent. La freqüència de dades és cada 10 min, a partir de les 13:00h de l'11 de novembre de 1998 (1.7 dies). Mida del fragment d'escala: 2h. Veure text per a més informació sobre el mètode. 51
- Figura 2.1 Intercalibració entre els sensors de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i els del LICOR LI1000 manual. Pir. =Piranòmetre ($W m^{-2}$); Quant.= Quantòmetre ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$). Els valors dels dos quantòmetres en la calibració són de llums aquàtiques subsuperficials. Llegenda de la figura en format "Eix X vs. Eix Y". Les respectives funcions i els seus coeficients es troben a la Taula 2.4. 73
- Figura 2.2 Climatologia dels Alfacs entre 1992 i 1999. (a) Temperatura (màxima, mitjana i mínima, en $^{\circ}C$), (b) Humitat relativa (mínima i mitjana, en %), (c) Velocitat del vent (màxima i mitjana, en $m s^{-1}$), (d) Radiació Solar (global i neta, en $MJ m^{-2}$), (e) intercanvi d'aigua amb l'atmosfera (Precipitació Total-PPT, Evapotranspiració de referència-ETo, i balanç hídric net o precipitació neta, mesura com PPT-Eto; totes tres en mm ó $l m^{-2}$). Les dades procedeixen de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i corresponen a mitjanes diàries, excepte les de precipitació i evaporació, que corresponen a valors acumulats diaris. 77
- Figura 2.3 Distribució de freqüències de l'orientació del vent. Valors horaris de 1997 de l'estació meteorològica d'Amposta (n=8759): (a) hivern, (b) primavera, (c) estiu, (d) tardor. 78
- Figura 2.4 Coeficient d'extinció de la llum (k_z) mesurat *in situ* a la columna d'aigua (m^{-1}). 79

Figura 2.5 Irradiància subaquàtica calculada a diverses fondàries de la columna d'aigua a partir de l'extinció exponencial negativa amb el coeficient k_z	79
Figura 2.6 Fondària de la picnoclina a la badia dels Alfacs: (a) valors discrets per cada moment de mostreig, (b) histograma de freqüències de l'aparició de cada fondària. Les dades corresponen al període 1996 i 1998 (CNA-DARP).....	80
Figura 2.7 Diferències de salinitat (psu) entre la capa inferior i la capa superficial del punt central de la Badia dels Alfacs. Dades setmanals de 1990-1998 (n=280).....	80
Figura 2.8 Sèries temporals de (a) salinitat (psu), (b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) i (c) oxigen dissolt (mg l^{-1}), corresponents a l'aigua superficial (sèrie clara) i fonda (sèrie fosca) del punt mig de la Badia dels Alfacs, entre 1990 i 1998. Les línies contínues representen les tendències significatives al llarg del temps (per la salinitat superficial, $S=33.7+ 2.72 * 10^{-4} T$, $p<0.01$, T en dies, i per la profunda, $S=36.5 - 1.37 * 10^{-4} T$, $p<0.05$).....	81
Figura 2.9 Efecte de la velocitat del vent (m s^{-1}) sobre l'estratificació de la columna d'aigua, representada per la diferència de salinitat mitjana entre la capa de fons (S_2 , en psu) i la de superfície (S_5). Les dades són mitjanes mensuals del període 1992-1997 (n=61). La intersecció de la recta de regressió amb l'eix horitzontal és a $x=5.15 \text{ m s}^{-1}$, i indica la velocitat del vent estimada a la qual es perdria totalment l'estratificació.	82
Figura 2.10 Evolució mensual mitjana durant la dècada dels 90 de: (a) salinitat (psu), (b) PPT-ETo acumulada (mm ó l m^{-2}), (c) velocitat màxima diària del vent (m s^{-1}), (d) velocitat mitjana del vent (m s^{-1}), (e) oxigen dissolt de tota la columna d'aigua (mg l^{-1}), (f) oxigen dissolt per capes, superficial de color blanc, fonda de color negre.	83
Figura 2.11 Evolucions de: (a) salinitat mitjana setmanal per tota la columna d'aigua (psu), (b) PPT-ETo acumulada diària (mm), (c) velocitat del vent mitjana diària (m s^{-1}), (d) orientació del vent mitjana diària ($^{\circ}$), durant el període de 1996-98.....	84
Figura 2.12 Evolució de (a) salinitat (psu), (b) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) i (c) oxigen dissolt (% de saturació) del punt mig de la Badia dels Alfacs (1996-98).	85
Figura 2.13 Evolució de la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) de l'aigua de la capa fonda al llarg de la dècada dels anys 90.	87
Figura 2.14 Relació entre temperatura mínima diària de l'aire i la temperatura de l'aigua de fons del punt central. Dades aparellades de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i dels diversos programes de recerca de qualitat de l'aigua a la Badia dels Alfacs, durant el període 1992-1998. La regressió lineal és estadísticament significativa	88
Figura 2.15 Distribució de concentracions d'oxigen dissolt a la capa profunda del punt central de la badia dels Alfacs. Dades setmanals entre 1990 i 1998 (n. anuals=12-38). A l'esquerra de la línia vertical queden els valors corresponents a situacions d'hipòxia.	89
Figura 2.16 Salinitat del punt central i precipitació neta al llarg de la dècada dels 90. (a) Mitjanes anuals de salinitat, (b) precipitació neta acumulada anual.	90
Figura 2.17 Concentració de nutrients i clorofil·la a en la columna d'aigua de la Badia dels Alfacs entre 1991 i 1995: (a) NH_4^+ , (b) NO_2 , (c) NO_3^- , (d) PO_4^{3-} , (e) N/P, (f) Clorofil·la a. Dades del Centre Nacional d'Aqüicultura-IRTA, expressades en μM excepte les de clorofil·la a, en mg m^{-3}	91

- Figura 2.18 Evolució estacional de la concentració en la columna d'aigua de la badia dels Alfacs de: (a) amoni, (b) nitrit, (c) nitrat, (d) fosfat, (e) N/P, (f) clorofil·la a. Les unitats dels nutrients són μM i les de Cla són mg m^{-3} . Les dades són mitjanes de cada més de l'any per a tots els anys de que es disposa dades (* entre 1991 i 1995 excepte per Cla, entre 1990 i 1995), separades per capa superficial (sup.) i capa profunda (fons)..... 92
- Figura 2.19 Histograma de freqüències de la concentració d'amoni (NH_4^+ , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 96
- Figura 2.20 Histograma de freqüències de la concentració de nitrit (NO_2 , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 97
- Figura 2.21 Histograma de freqüències de la concentració de nitrat (NO_3^- , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 98
- Figura 2.22 Histograma de freqüències de la concentració de fosfat (PO_4^{3-} , en μM) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 99
- Figura 2.23 Histograma de freqüències del quocient N/P (concentració de nitrogen inorgànic dissolt total dividit per la concentració de fosfat) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, i (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 100
- Figura 2.24 Histograma de freqüències de la concentració de clorofil·la a (Cla, en mg m^{-3}) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997: (a) per tota la columna d'aigua, (b) capa superficial (*miS*) i profunda (*miF*) per separat. Dades de diverses procedències (veure text per més detalls). 101
- Figura 2.25 Relació entre el nitrat (NO_3^-) i fosfat (PO_4^{3-}) respecte la clorofil·la a (Cla): (a) concentració de nitrat respecte Cla, (b) concentració de fosfat respecte la de Cla. Dades setmanals del Centre Nacional d'Aqüicultura de l'IRTA entre 1990 i 1995 de la capa superficial i profunda de columna d'aigua de la Badia dels Alfacs. 102
- Figura 2.26 Distribució de freqüències de concentració de nutrients en l'aigua dels canals d'entrada a la badia dels Alfacs, en 1986-87 i 1996-97: (a) NH_4^+ , (b) NO_2 , (c) NO_3^- , (d) PO_4^{3-} , (e) N/P. Els canals considerats són el del Desguàs General, l'Encanyissada i la Sèquia del l'Ala, sense comptar amb el de la depuradora. 105
- Figura 2.27 Relació entre la salinitat mitjana de la columna d'aigua i el balanç hídric amb l'atmosfera (precipitació menys ET_0). Dades mensuals dels anys 1992 a 1997 ($n=61$), mitjanes per la salinitat i acumulades per al balanç hídric..... 106

Figura 3.1 Esquema de l'estructura simplificada d'un estuari amb dues capes (caixes negres), que es mantenen en estat estacionari, rebent aportos d'aigua dolça de l'exterior i aigua salada de mar obert (veure text per més detalls). Notació: Q_e =Cabal d'aigua d'entrada, Q_a =Cabal ascendit, Q_i =Cabal d'intercanvi, Q_{ad} =Cabal d'aigua dolça, Q_{ev} =Cabal evaporat, S_e =Salinitat d'entrada, S_f =Salinitat del fons, S_s =Salinitat superficial.	124
Figura 3.2 Punts de mostreig del mapa d'oxigen de la badia dels Alfacs (25/09/97), representats pels símbols p1 a p6, més els de les estacions <i>Exterior (Ext.)</i> , <i>Boca</i> , <i>Mig</i> i <i>Cua</i>	126
Figura 3.3 Evolució dels perfils d'oxigen dissolt (O_2 , en %) a la badia dels Alfacs durant el període d'hipòxia de 1997. S'ha assignat lletres correlatives (a - e) a les diferents setmanes de mostreig per ordre cronològic (17/09/97, 25/09/97, 01/10/97, 09/10/97, 22/19/97).	130
Figura 3.4 Evolució dels perfils de Salinitat (S) a la badia dels Alfacs durant el període d'hipòxia de 1997. S'ha assignat lletres correlatives (a - e) a les diferents setmanes de mostreig per ordre cronològic (17/09/97, 25/09/97, 01/10/97, 09/10/97, 22/19/97).	131
Figura 3.5 Evolució dels perfils de Temperatura (T, en °C) a la badia dels Alfacs durant el període d'hipòxia de 1997. S'ha assignat lletres correlatives (a - e) a les diferents setmanes de mostreig per ordre cronològic (17/09/97, 25/09/97, 01/10/97, 09/10/97, 22/19/97).	132
Figura 3.6 Evolució dels perfils de σ_T a la badia dels Alfacs durant el període d'hipòxia de 1997. S'ha assignat lletres correlatives (a - e) a les diferents setmanes de mostreig per ordre cronològic (17/09/97, 25/09/97, 01/10/97, 09/10/97, 22/19/97).....	133
Figura 3.7 Evolució horària, en el punt central de la badia, de: (a) salinitat, (b) temperatura, (c) oxigen dissolt, (d) velocitat de canvi d' O_2 , i (e) alçada no corregida de la columna d'aigua (a partir de registre de pressió hidrostàtica, sense corregir per la pressió atmosfèrica; veure Figura 3.9 per a la sèrie corregida).....	134
Figura 3.8 Evolució horària de les variables meteorològiques entre el 16 i el 21 de setembre de 1997: (a) Temperatura aèria (°C), (b) Velocitat del vent ($m s^{-1}$), (c) Direcció de procedència del vent (graus de desviació en sentit horari respecte el Nord), (e) Radiació Solar ($W m^{-2}$), Balanç hídric per via atmosfèrica, PPT-ETo (mm), Pressió atmosfèrica (mbar). Totes les dades procedeixen de registres horaris de l'estació meteorològica Amposta-DARP, excepte les de Pressió Atmosfèrica, que són cada 30' de l'estació Amposta-DMA.	135
Figura 3.9 Correcció de l'alçada de la columna d'aigua del registre baromètric de la sonda multiparamètrica submergida a partir del registre de Pressió atmosfèrica de l'estació meteorològica Amposta-DMA. S'ha assumit la relació de canvi de +1mbar = -1 cm. (veure text per a més detalls). S'ha d'entendre l'alçada corregida de la columna d'aigua com l'alçada que s'hauria observat si no s'hi haguessin donat canvis de pressió atmosfèrica.	136
Figura 3.10 Seccions en fondària de la massa d'aigua pobre en oxigen el 25 de setembre de 1997: (a) a 2 m de fondària, (b) 4 m, (c) 5 m, (d) 6m.	137
Figura 3.11 Mapa d'oxigen dissolt al fons de la badia dels Alfacs el 25 de setembre de 1997. Els valors en gris clar són expressats en % de saturació, i els valors en blanc i cursiva són concentracions expressades en $mg l^{-1}$	138

- Figura 3.12 Evolució temporal de: (a) oxigen dissolt (% saturació), (b) velocitat del vent ($m s^{-1}$), (c) salinitat (psu), (d) temperatura ($^{\circ}C$), (e) diferència de $SIGMA_T$ entre les capes de fons i superfície, i (f) flux net residual ($\times 10^6 m^3 d^{-1}$). Els valors d'oxigen, salinitat, i temperatura són valors setmanals, mitjans per tota la capa de fons (els tres darrers metres de la columna d'aigua) al punt central de la badia; els de vent són valors mitjans diaris de l'estació Amposta-DARP; els de flux net residual positius són d'entrada d'aigua a la badia. Es mostren les sèries de dades de 1996 (gris) i 1997 (negre)..... 139
- Figura 3.13 Evolució de (a) salinitat, (b) temperatura i (c) oxigen dissolt del punt mig de la badia dels Alfacs (1991). L'eix de les ordenades inferior està en dies julians a partir de 01/01/1991, i el superior en els mesos de l'any. L'origen d'aquestes dades és diferent que el de la seqüència de transectes de setembre de la Figura 3.18, i es troben mancades del registre de les tres variables entre el 20/08 i el 23/09. S'han sobreimprès alguns valors discrets prop del dia 270 per facilitar la lectura dels perfils verticals donats en aquesta data (veure explicació al text). Les línies discontinües s'han dibuixat de forma arbitrària. 140
- Figura 3.14 Evolució de la radiació neta mitjana anual (radiació global arribada menys radiació emesa) en $MJ m^{-2}$, rebuda per l'estació meteorològica d'Amposta-DARP (a partir de dades mostrades a la Figura 2.2d. 141
- Figura 3.15 Fonts d'energia cinètica turbulenta en un sistema aquàtic somer, a partir de Svendsen (1986): (a) entrada externa d'energia, (b) estrès de fricció generat pel corrent, (c) el trencament d'ones internes en una picnoclina, i (d) el trencament d'ones internes sobre un contorn amb pendent en direcció vertical. 146
- Figura 3.16 Distribució de concentracions d' O_2 en % de saturació, a la Badia dels Alfacs en estiu-tardor de 1990. Tret de Camp (1994). 147
- Figura 3.17 Mapa horitzontal de l'anòxia sobre el fons de l'estuari en el període descrit per Figura 3.16c. Tret de Camp (1994). 148
- Figura 3.18 Evolució de la distribució de saturacions d'oxigen en la capa profunda de l'aigua de la badia en relació amb el corrent net residual (entrada) mesurat a la boca de la badia promitjat per les 72 hores anteriors a cada distribució (any 1991). Tret de Camp (1994)..... 149
- Figura 4.1. Evolució de la demanda bioquímica d'oxigen en cinc dies (DBO_5) mitjana de la badia dels Alfacs, expressada per la temperatura de camp. Les barres d'error corresponen als errors estàndard de les estacions de mostreig de cada incubació (n entre 8 i 10)..... 163
- Figura 4.2. Relació entre consum d'oxigen dissolt (OD) estimat per consum de carboni orgànic dissolt (COD) més particulat (COP) assumint relació estequiomètrica C:O com a 1:1, i la respiració observada per la demanda bioquímica d'oxigen en 5 dies (DBO_5). Les sigles mostrades corresponen a les estacions de mostreig exterior fons (exF), boca fons (boF), mig fons (miF), cua fons (cuF), cua superficial (cuS), mig sup. (miS), boca sup. (boS), exterior sup. (exS), plataforma nord cua (PNc), plataforma nord mig (PNm), plataforma nord boca (PNb), i plataforma sud (PS). 172
- Figura 4.3. Regressions lineals entre la concentració de clorofil·la a (Cla) i (a-e) la de carboni orgànic particulat (COP) en escala doble logarítmica, o (f-j) entre Cla i la concentració d'oxigen dissolt. (a,

f) totes les dades, (b, g) hivern, (c, h) primavera, (d, i) estiu, (e, j) tardor. Els cercles blancs corresponen a valors fora de rang o "outliers" (veure text per més detalls).	174
Figura 4.4. Productivitat mitjana del fitoplàncton ($P_m^{Cl_a}$, en $mg\ O_2\ mg\ Cl.a^{-1}\ h^{-1}$) de diferents sistemes marins costaners, fonamentalment llacunes (total de les barres ratllades). S'assenyalen en gris els que corresponen a badies. A partir de Nixon (1986); cal tenir en compte que fins els anys 80 la majoria dels estudis es feien a partir d'incubacions amb ^{14}C	177
Figura 4.5. Canvi net d'oxigen del plàncton (CNP) diari a la capa superior, per compartiments. Llegenda: boS, miS, cuS representen els compartiments superficials de les estacions <i>Boca</i> , <i>Mig</i> i <i>Cua</i> , respectivament. Es mostra també l'equació de la regressió lineal (R.L.) entre ambdues variables.	178
Figura 4.6. Relació entre la suma de la velocitat de canvi net planctònic d'oxigen més la respiració (CNP+R, en $mgO_2\ l^{-1}\ d^{-1}$) i la clorofil·la a (en $mg\ m^{-3}$), en experiments de mesocosmos amb tres graus de turbulència: (a) baixa, (b) mitja i (c) alta. m=pendent de la recta. Elaborat a partir de dades de Petersen <i>et al.</i> (1998).	179
Figura 4.7. Perfils en fondària de (a) salinitat, (b) temperatura, (c) irradiància subaquàtica, i (d) oxigen dissolt, en el punt central dels Alfacs al llarg de 1997. Dades de (a), (b) i (d) ja mostrades a la Figura 2.18, i les de (c) han estat calculades a partir de la metodologia explicada al Capítol 1. Les marques dels eixos d'abscisses corresponen a mesos de 30 dies.	181
Figura 4.8. Flux d' O_2 de l'aigua a l'aire en funció de la velocitat del vent ($m\ s^{-1}$) i per varies sobresaturacions d'oxigen dissolt, considerant fixes salinitat a 35 psu i temperatura de l'aigua a 20 °C. Mètode de càlcul explicat al text. Valors negatius de FDO_{vent} indiquen sortida d'oxigen cap a l'atmosfera.	184
Figura 4.9. Distribució de la velocitat del vent al Delta de l'Ebre. 1997. Les dades són mitjanes horàries de l'estació meteorològica <i>Amposta-DARP</i>	185
Figura 5.1. Punts de mostreig del mapa de distribució de macroalgues bentòniques. Els cercles corresponen al mostreig espacial i les lletres dels codis fan referència a la data de mostreig (a=14/04/97, jn=9/06/97, jl=9/07/97, s=25/09/97, f=17/feb/98). Els quadrats indiquen els llocs de mostreig de la dinàmica temporal (B= <i>Boca</i> , M= <i>Mig</i> , C= <i>Cua</i>).	192
Figura 5.2. Cilindre mostrejador de biomassa macroalgal (àrea interna $500\ cm^2$).	193
Figura 5.3. Foto i característiques de les dues espècies de macroalgues bentòniques que han colonitzat recentment la badia dels Alfacs.	194
Figura 5.4. Distribució i cobertura de les macroalgues a la badia dels Alfacs: (a) possible extensió i distribució de la cobertura de les macroalgues bentòniques en 1987 a la cubeta central, a partir d'observacions puntuals durant l'anterior projecte de recerca a la badia dels Alfacs (J. Romero, <i>com, pers.</i>), (b) cobertura bentònica conjunta de les dues espècies de macroalgues <i>Caulerpa prolifera</i> i <i>Alsidium corallinum</i> en 1997.	195
Figura 5.5. Biomassa de macroalgues ($g\ PS\ m^{-2}$) a l'Abril de 1997: (a) cloròfit laminar <i>Caulerpa prolifera</i> , (b) rodòfits ramificats, fonamentalment <i>Alsidium corallinum</i>	196
Figura 5.6. Evolució temporal de la biomassa de macroalgues en cadascuna de les estacions de mostreig de la dinàmica temporal (veure Figura 5.1): (a) <i>Caulerpa prolifera</i> , (b) Rodòfits	

- ramificats, fonamentalment *Alsidium corallinum*, i ocasionalment amb escassa contribució d'acúmuls barrejats de *Gracilaria verrucosa*..... 197
- Figura 5.7. Histogrames de freqüències de temperatures mínimes de l'aire corresponents als mesos d'hivern (desembre-març). La moda de la distribució s'indica amb una punta de fletxa. Les dades procedeixen de l'observatori meteorològic d'Amposta-DARP. Unes temperatures de l'aire de 3.7 i 8.6 °C correspondrien a una temperatura d'aigua fonda de 10 i 13.6 °C, respectivament..... 200
- Figura 5.8. Incubacions fotosíntesi-irradiància al laboratori: (a) Arcó incubador amb les ampolles dels experiments de fotosíntesi irradiància. Les diferents irradiàncies s'aconsegueixen per distribució en zones amb il·luminació diferencial dins l'arcó i per l'addició de filtres reductors de la irradiància a sobre de les ampolles que així ho requereixen. (b) Detall de les ampolles d'incubació, oxímetre i agitador magnètic portàtil de camp i laboratori. El filament sobre la taula correspon a *Alsidium corallinum*. 209
- Figura 5.9. Esquema de l'extinció de la llum en fondària primer i en funció de la biomassa de la mata algal després, amb les equacions emprades. Les dimensions de la columna d'aigua i de les macroalgues no estan fetes a la mateixa escala. I_z = irradiància subaquàtica ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a la fondària z (m), I_{z0} = I_z subsuperficial, K_z = coeficient d'extinció de la llum a la columna d'aigua, I_b = irradiància subaquàtica després de travessar una capa de macroalgues bentòniques de biomassa B (g PS m^{-2}), I_{b0} = I_b just abans de travessar la capa de macroalgues, K_b = coeficient d'extinció de la llum en funció de la biomassa macroalgal, H = alçada sobre el sediment (unitats arbitràries). 211
- Figura 5.10. Campanes d'incubació de sediment (disseny propi). La campana s'enterra fins a una cota de 5cm de fondària del cilindre rígid, amb l'ajut de les nanses laterals que porta acoblades. El volum tancat al seu interior per aquest procés és d'11 l i la superfície plana és de 755 cm^2 . El con de PVC flexible permet que el corrent marí pugui moure l'aigua tancada en el seu interior trencant els possibles gradients que s'hi poguessin formar eventualment..... 213
- Figura 5.11. Exemple de corba fotosíntesi irradiància (F-I). Cada punt és el promig de 3 rèpliques. (A) *Caulerpa prolifera*, (B) *Alsidium corallinum*..... 215
- Figura 5.12. Evolució dels paràmetres fotosintètics de les corbes F-I i de les taxes de respiració mesurades: (a) Taxa de producció màxima, P_m^{mac} , (b) Irradiància de saturació, I_{sat} , (c) Irradiància de compensació per l'O₂, I_c , (d) Respiració per unitat de biomassa, R_b . ($1\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} = 1\mu\text{mol fotons m}^{-2} \text{s}^{-1}$). 216
- Figura 5.13. Coeficient d'extinció de la llum en fondària (K_z , en m^{-1}) emprada per al càlcul de balanços d'oxigen anuals i de finals d'estiu. Es mostren les mitjanes mensuals (\pm error estàndard) per cada una de les tres estacions de mostreig (*Boca*, *Mig* i *Cua*)..... 217
- Figura 5.14. Irradiància instantània subaquàtica al llarg de 1997: (a) sobre la mata de macroalgues, (b) sota la mata. També es presenta el percentatge d'irradiància aèria superficial ($\%I_0$) que arriba: sobre la mata de macroalgues, (d) sota la mata. Per aquests càlculs s'ha pres una biomassa mitjana per a l'estació *Cua* de 100-300 g PS m^{-2} de mata macroalgal, amb una $K_b = 2.74 * 10^{-3} \text{m}^2 \text{g}^{-1} \text{PS}$ (veure més detalls en el text). 217

- Figura 5.15. Nombre d'hores d'exposició a llum saturant, H_{sat} al llarg de 1997, a la fondària de la mata macroalgal $z = 5.5$ m a l'estació *Mig*: (a) nombre d'hores d'exposició al dia per *Caulerpa prolifera*, i (b) el seu percentatge de dies de l'any corresponent a cada H_{sat} , (c) nombre d'hores d'exposició al dia per *Alsidium corallinum*, i (d) el seu percentatge de dies..... 218
- Figura 5.16. Producció Primària Bruta (PPB_{mac}) i Respiració (R_{mac}) de les dues macroalgues bentòniques dominants al llarg de 1997: (a) estació *Boca*, (b) estació *Mig*, (c) estació *Cua*. Les línies de punts a $PPB_{\text{mac}}=0$ han estat dibuixades com a referència únicament. 219
- Figura 5.17. Relació entre la respiració teòrica i la respiració observada per diferents mesos del període de mostreig: (a) 07/03/97, (b) 24/04/97, (c) 11/06/97, (d) 07/07/97, (e) 01/10/97, (f) 16/02/98, (g) 17/09/98. La primera prové de multiplicar a la biomassa de les campanes la respiració trobada a laboratori. La respiració observada correspon al consum d'oxigen trobat in situ amb les campanes d'incubació de sediment. Unitats: $\text{mgO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Els punts d'intersecció a l'eix de les ordenades es mostren a la Taula 5.5..... 221
- Figura 5.18. Contribució de les macroalgues al balanç net diari bentònic i risc d'anòxia per un dia-típus de setembre, en funció de la nuvolositat i de la terbolesa de l'aigua a l'estació de *Cua*. Els codis dels nivells d'irradiància incident corresponen a: I1 = aigua clara ($k_z = 0.3 \text{ m}^{-1}$) + sense núvols (0 %); I2 = aigua clara ($k_z = 0.3 \text{ m}^{-1}$) + màxima nuvolositat (50 %); I3 = aigua mig tèrbola ($k_z = 0.45 \text{ m}^{-1}$) + nuvolositat mitjana (25 %); I4 = aigua molt tèrbola ($k_z = 0.6 \text{ m}^{-1}$) + sense núvols (0 %); I5 = aigua molt tèrbola ($k_z = 0.6 \text{ m}^{-1}$) + nuvolositat màxima (50 %). Les intensitats de gris de fons indiquen el nombre de dies que s'ha de mantenir la mateixa situació per que l'aigua es torni anòxica (veure text per més detalls). 224
- Figura 6.1. Esquema del model de balanços d'oxigen per a la badia dels Alfacs: (a) termes de què depèn la velocitat de canvi de l'OD, (b) representació esquemàtica del model conceptual OMMEL sobre un tall longitudinal de la badia..... 247
- Figura 6.2. Concentració d'oxigen observada vs. esperada a 1997, en (a) la capa superior i (b) la capa del fons de l'estació *Mig* de la badia dels Alfacs..... 253
- Figura 6.3. Evolució al llarg de l'any 1997 de la concentració d'oxigen dissolt de la columna d'aigua fruit de la simulació del model de balanços, i contribució parcial de cada procés al balanç horari d'oxigen en les estacions *Boca* (a, d), *Mig* (b, e) i *Cua* (c, f): (a, b, c) concentració d'oxigen dissolt (mg l^{-1}) a la capa superior (línia ratllada) i capa de fons (línia contínua), (d, e, f) contribucions parcials al balanç horari d'oxigen a la columna d'aigua ($\text{mg l}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Els valors corresponents a productors primaris indiquen producció neta. Cal notar que en alguns mesos concrets la simulació pot donar valors diferents dels reals, mentre que en altres l'ajust és molt millor (veure text per més detalls)..... 255
- Figura 6.4. Efecte del vent sobre el flux d'oxigen dissolt a través de la superfície de la columna d'aigua: (a) velocitat mitjana diària del vent (m s^{-1}), (b) velocitat mitjana horària del vent (m s^{-1}), (c) concentració d'oxigen dissolt (% de saturació) en l'estació de mostreig *Boca Superior*, (d), el mateix per *Mig Superior*, (e) el mateix per *Cua superior*, (f) velocitat de canvi horari de concentració d'oxigen dissolt ($\text{mg l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) a causa del vent en l'estació *Boca Superior*, (g), el mateix per *Mig Superior*, (h) el mateix per *Cua superior*. 256

- Figura 6.5. Evolució al llarg d'un dia mitjà de 1997 de la concentració d'oxigen dissolt de la columna d'aigua i de les contribucions parcials al balanç d'oxigen. Per a cada un dels sis punts de mostreig s'ha representat: (a-f) concentració d'oxigen dissolt ($\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) de la columna d'aigua (línia contínua fina) i concentració d'oxigen equivalent al 100% de saturació amb l'aire per la temperatura i salinitat donades (punts més gruixuts), (g-l) velocitat de canvi horari parcial de cada procés ($\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ h}^{-1}$), i (m-r) balanç net diari parcial de cada procés ($\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Els valors corresponents a productors primaris indiquen producció neta. 257
- Figura 6.6. Evolució del balanç d'oxigen en els mesos de setembre i octubre, per a l'estació Cua: (a) concentració d'oxigen dissolt (mg l^{-1}) a la capa superior (línia fina) i capa de fons (línia gruixuda), (b) irradiàncies just sobre l'aigua, per sota, al mig de la capa superficial, al mig de la capa profunda, i just sobre les macroalgues, de dalt a baix correlativament, (c) velocitat de vent (mitjana diària), (d) contribucions parcials al balanç horari d'oxigen a la columna d'aigua ($\text{mg l}^{-1} \text{ h}^{-1}$), (e) balanç net diari parcial d'oxigen a la capa superficial d'un dia mitjà de setembre (mg d^{-1}), (f) igual que (e) però per la capa profunda, (g)-(h) igual que (e)-(f) però per octubre. Les dades d'irradiància i velocitat del vent són mitjanes diàries. S'ha inclòs en (a), com a referència, una línia discontinua a 3 mg l^{-1} (llindar d'hipòxia). 259
- Figura 6.7. Sensibilitat de l'oxigen dissolt en l'estació *Mig* fons de la badia dels Alfacs a canvis del 20% en algunes funcions de forçament i paràmetres: (a) capa superior de la columna d'aigua, considerant l'any sencer, (b) capa inferior, any sencer, (c) capa superior, setembre, (d) capa inferior, setembre. Paràmetres ordenats de major a menor efecte, en valor absolut, per a la capa inferior de la columna d'aigua. 260
- Figura 6.8. Taxa de discrepància entre OD_{est} i OD_{obs} normalitzada per a l'increment del 20% en algunes funcions de forçament i paràmetres: (a) capa superior de la columna d'aigua, considerant l'any sencer, (b) capa inferior, any sencer, (c) capa superior, setembre, inexistent per manca de dades (d) capa inferior, setembre. Paràmetres ordenats de major a menor efecte, en valor absolut, per a la capa inferior de la columna d'aigua. No s'ha dibuixat la subfigura (c) per que les dades per elaborar les figures corresponents al mes de setembre es van elaborar a partir de les dades recollides per la sonda multiparamètrica de micropolsos YSI 600 (veure 0), que en quedar lligada a un mort a prop del fons de la columna d'aigua, no va recollir dades al mateix moment de la capa superficial. En canvi, les subfigures (a) i (b) s'han elaborat a partir de les dades discretes setmanals obtingudes a partir de lectura amb l'oxímetre WTW sobre mostres capturades en ampolles Niskins, tant de la capa superficial com profunda. 261
- Figura 6.9. Taxa de canvi de l'oxigen dissolt en l'estació *Mig* fons de la badia dels Alfacs a causa de variacions en algunes funcions de forçament i paràmetres, dins el rang natural d'oscil·lació: (a) capa superior de la columna d'aigua, considerant l'any sencer, (b) capa inferior, any sencer, (c) capa superior, setembre, (d) capa inferior, setembre. Paràmetres ordenats de major a menor efecte, en valor absolut, per a la capa inferior de la columna d'aigua. 263
- Figura 6.10. Taxa de discrepància entre OD_{est} i OD_{obs} per variació dels valors d'algunes funcions de forçament i paràmetres, dins el seu rang natural d'oscil·lació: (a) capa superior de la columna d'aigua, considerant l'any sencer, (b) capa inferior, any sencer, (c) capa superior, setembre,

inexistent per manca de dades (d) capa inferior, setembre. Paràmetres ordenats de major a menor efecte, en valor absolut, per a la capa inferior de la columna d'aigua. La raó per la qual no existeixen dades per dibuixar la figura (c) està explicada a la Figura 6.8.	263
Figura 6.11. Concentració d'oxigen observada (creus) vs. estimada (línies) entre el 16 i 19 de setembre de 1997 en capa profunda de l'estació <i>Mig</i> de la badia dels Alfacs. Es mostra l'evolució estimada de l'OD sense calibrar expressament cap paràmetre respecte els valors emprats per a la simulació de tot l'any 1997 (línia grisa contínua), i amb els valors calibrats de respiració del sediment, concentració de clorofil·la a i fluxos d'aigua dolça ($r_{sed} \cdot 1.84$, $Cl.a \cdot 0.16$, $F3_{canals} \cdot 1.26$). Resultat pràcticament idèntic s'obté calibrant per als dos paràmetres $r_{sed} \cdot 1.67$ i $Cl.a \cdot 0.21$ només (veure text per més detalls).....	269
Figura 6.12. Esquema de la dinàmica anual d'oxigen dissolt a la badia dels Alfacs: (a) hivern, (b) primavera, (c) estiu, i (d) tardor. La mida dels símbols és arbitràriament proporcional a la seva magnitud, o a la contribució al balanç d'oxigen dissolt. Els símbols representats per al plàncton no tenen per què coincidir amb cap espècie concreta del grup taxonòmic general al que representen. Veure text per més detalls.	275
Figura 6.13. Distribució de freqüències de producció primària particulada per (a) fitoplàncton, i per (b) fitoplàncton més fanerògames, macroalgues i microfítobentos, en varies llacunes, estuaris i aigües costaneres. Modificat de Nixon (1986). S'ha inclòs l'asterisc (" * ") sobre la classe de freqüència on es situa la producció de la Badia dels Alfacs.....	278
Figura 6.14. Producció primària total a 32 zones marines costaneres (referències en parèntesis). Modificat de Borum 1996: (1) Elmgren 1984, (2) Jassby <i>et al.</i> 1993, (3) Nienhuis 1992, (4) Welsh <i>et al.</i> 1982, (5) Richardson i Christoffersen 1991, Granéli i Sundbäck 1986, (6) Thom 1984, (7) Day <i>et al.</i> 1973, (8) Borum <i>et al.</i> 1990, (9) Kemp <i>et al.</i> 1983, (10) Winter <i>et al.</i> 1975, (11) Jensen <i>et al.</i> 1990, (12) Walker <i>et al.</i> 1988, (13) Lively <i>et al.</i> 1983, (14) Murray i Wetzel 1987, (15) Mann 1972.....	279
Figura B.1 Localització de Skagerrak, Kattegat, Mar de Belt i Mar Bàltic, Europa del Nord (a partir de Anderson i Rydberg 1988).	320
Figura B.2. Localització del fiord de Trondheim, a la part central de Noruega (a partir de Öztürk <i>et al.</i> 2002)	321
Figura B.3. Localització del fiord Doubtful Sound, Nova Zelanda (a partir de Lusseau <i>et al.</i> 2003) ..	322
Figura B.4 Localització de la badia de Chesapeake i dels seus estuaris, Virginia, EUA (a partir de Harding 1994).....	323
Figura B.5 Localització de la badia de Tomales, Califòrnia, EUA (a partir de Smith i Hollibaugh 1997).	325
Figura B.6 Localització de la badia de Tampa, Florida, EUA (a partir de Wang <i>et al.</i> 1999).	326
Figura B.7 Localització dels estuaris mediterranis d'Àustràlia Occidental, Austràlia (a partir de Largier <i>et al.</i> 1996, Hearn 1998).....	327
Figura B.8 Localització de l'estuari de Palmiet, Sud-àfrica (a partir de Largier i Taljaard 1991).	328
Figura B.9 Localització de la badia portuària de Tolo, Hong Kong, Xina (Hodgkiss i Yim 1995).	330
Figura B.10 Localització de la badia d'Uranouchi, Shikoku, Japó (a partir de Somsueb <i>et al.</i> 2001). 331	

Figura C.1. Articles amb citacions d'episodis anòxics o hipòxics en ambients estuaris costaners	338
Figura C.2. Diagrama de freqüències amb el nombre d'observacions cada any, per a totes les observacions descrites a Kamykowski i Zentara (1990).....	339
Figura D.1. OMMEL Home page at Sourceforge.net, the main portal to produce and find free software on the net. URL for OMMELproject: http://sourceforge.net/projects/ommel	350
Figura D.2. OMMEL File tree, including the folders for binaries, input files, output files, R_scripts, Fortran source, and others. See text for more details.....	351
Figura D.3. OMMEL dialog in a shell windows under GNU/Linux.....	352
Figura D.4. OMMEL dialog in a shell windows under MS Windows	352
Figura D.5. Editing "R" scripts to produce graphs upon OMMEL results, using RKWard under GNU/Linux.....	362
Figura D.6. Editing "R" scripts to produce graphs upon OMMEL results, using SciViews and Tinn-R under MS Windows.	363

Annex F. Llistat de Taules

Annex F. Llistat de Taules

Taula 1.1 Resum de circulació estuariana per als diferents tipus d'estuaris ¹ (segons classificació de Pritchard 1955, Cameron i Pritchard 1965; modificat a partir de Friedrichs 2002b).....	17
Taula 1.2 Característiques morfològiques de la Badia dels Alfacs.....	22
Taula 1.3 Fluxos d'aigua estimats per a cada zona, en canals oberts i canals tancats, en m ³ s ⁻¹ . C. Ala: Canal de la Sèquia de l'Ala. C. Enc: Canal de l'Encanyissada. C. Dgl: Canal del Desguàs General o Campredó. C.Dep.: Canal de la Depuradora de Sant Carles de la Ràpita. Dades de fluxos dels arrossars amb <i>canals oberts</i> : Canicio i Ibáñez (1996); i amb <i>canals tancats</i> : Camp (1994). Cal remarcar que no són sempre fluxes reals a través d'aquests canals, que de vegades són fins i tot secs, sinó entrades per cada terç arbitrari de ribera nord de la badia, a la qual s'ha anomenat amb el nom del canal més important que hi té a dins.	24
Taula 1.4 Especificacions de les variables mesurades pel correntímetre AANDERAA RCM7.....	30
Taula 1.5 Valors acumulats anuals i per estacions climatològiques de: Precipitació (PpT), Evapotranspiració (Eto) i Precipitació neta (PpT-Eto). Les dades són de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP. Les unitats són mm, ó l m ⁻² , i la majoria són mitjanes de prop de 90 casos, menys l'hivern de 1992, en que tan sols es diposa de 45 casos.....	44
Taula 1.6 Correlacions entre les components del corrent en boca fons i les variables meteorològiques. Calculat com a exemple amb les dades de novembre – desembre de 1998. Es mostren en negreta i ombrejades les correlacions lineals estadísticament significatives (p<0.05).....	45
Taula 1.7 Resum de l'ordre de magnitud (observat o previsible) del flux net residual diari (expressat en m ³ s ⁻¹ , ó en x10 ⁶ m ³ d ⁻¹) de la Badia dels Alfacs. Es dona el valor mínim i màxim observat o estimat, segons cada cas.....	53
Taula 2.1 Projectes d'investigació d'on procedeixen les dades que s'han analitzat en la present tesi.	69
Taula 2.2 Variables meteorològiques per a la zona de la badia dels Alfacs. Dades de l'estació meteorològica del municipi d'Amposta (40° 42' 24" N, 00° 37' 48" E).	70
Taula 2.3 Variables físico-químiques de l'aigua obtingudes en cada projecte emprades en aquesta tesi doctoral.....	71
Taula 2.4 Factors de conversió entre els sensors de llum de l'estació meteorològica d'Amposta-DARP i els del LICOR LI-1000 manual. La calibració entre piranòmetres es va realitzar a l'estació meteorològica d'Amposta-DARP el 27/01/99, en un dia molt ventós i cobert de núvols grisos, mentre que les altres mostrades aquí es van fer en una bassa d'aigua en els camps experimentals de la Facultat de Biologia (UB) els dies 11-12/06/98, en dies clars. Totes tres regressions són estadísticament significatives (p<0.05).	72
Taula 2.5 Salinitats mitjanes mensuals (psu) de la Badia dels Alfacs entre 1990 i 1998.....	74

Taula 2.6 Rang de valors de les variables climatològiques per tot el període 1992-1999 i correlació amb el temps en dies. Les dades originals procedeixen de l'observatori d'Amposta del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.	76
Taula 2.7 Regressions lineals de les salinitats (en psu) de la capa superficial i profunda respecte el temps (en dies), a partir de les dades mostrades en la Taula 2.5.	86
Taula 2.8 Temperatures mínimes mensuals i anuals (C) de l'aigua de la capa fonda de la badia dels Alfacs entre 1990 i 1998.	87
Taula 2.9 Increments estimats de la temperatura (C) de l'aigua més fonda de la badia dels Alfacs (a 6m de fondària, en contacte amb la comunitat bentònica de l'ecosistema). Calculat a partir de la tendència d'increment de la temperatura mínima diària de l'aire (Taula 2.6) i de la correlació entre la aquesta i la temperatura de l'aigua de 6m de fondària (Figura 2.14).	88
Taula 2.10 Tendències temporals dins de la sèrie de concentració de nutrients entre 1991 i 1994 ^a . Es mostren els paràmetres de l'equació ($Y=Y_0+aX$) de les regressions estadísticament significatives: terme independent (Y_0), pendent de la recta (a), el coeficient de correlació (r), i el grau de significació (* quan $p<0.05$, ** quan $p<0.01$, *** quan $p<0.001$). Unitats: nutrients en μM , Clorofil·la a en mg m^{-3} , temps en dies. El fosfat del període 1991-1993 no s'ha inclòs en l'anàlisi (veure text per més detalls).	94
Taula 2.11 Anàlisi de les concentracions de nutrients (μM), la taxa N/P i la concentració de clorofil·la a (Cla, mg m^{-3}) amb el temps, en la columna d'aigua de la badia dels Alfacs entre 1986 i 1997. Dades de diverses procedències ($n=344$, veure text per més detalls). S'han ombrejat els valors estadísticament significatius ($p<0.05$).	94
Taula 2.12 Concentracions de Clorofil·la a mitjanes mensuals (mg m^{-3}) entre 1990 i 1995. Dades del Centre Nacional d'Aqüicultura-IRTA.	95
Taula 2.13 Test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov de comparació de les mitjanes per als dos casos de "període de mostreig", aplicat a les concentracions de nutrients (μM) i la taxa N/P analitzades en l'aigua dels canals de desguàs dels arrossars i de la principal llacuna costanera que vessa a la badia dels Alfacs (Sèquia de l'Ala, Desguàs General i Sortida de la llacuna de l'Encanyissada). NID: Nitrogen inorgànic dissolt. Resultats ombrejats són estadísticament significatius, amb nivell de significació: * quan $p<0.05$, ** quan $p<0.01$, *** quan $p<0.001$	103
Taula 2.14 Test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov de comparació de les mitjanes per als dos casos de "canal que travessa llacuna vs. canal que no en travessa", aplicat a les concentracions de nutrients (μM) i la taxa N/P analitzades en l'aigua dels canals de desguàs dels arrossars i de la principal llacuna costanera que vessa a la badia dels Alfacs (Sèquia de l'Ala, Desguàs General i Sortida de la llacuna de l'Encanyissada). Resultats ombrejats són estadísticament significatius, amb nivell de significació: * quan $p<0.05$, ** quan $p<0.01$, *** quan $p<0.001$	104
Taula 2.15 Concentracions de nutrients del canal de sortida de la depuradora.	104
Taula 2.16 Concentracions de Clorofil·la a en diferents estuaris (modificat a partir de Underwood i Kromkamp 1999 i altres fonts).	110
Taula 4.1 Canvi diari de concentració d'oxigen dissolt (OD). Es mostren els OD inicial i final (OD_i i OD_f , respectivament), l'increment d'OD (ΔOD), l'interval de temps considerat (t), el canvi net	

planctònic (CNP), la concentració de la clorofil·la a (Cla), i la productivitat bruta del plàncton ($PB_m^{Cl.a}$)** del període estudiat.....	162
Taula 4.2 Decrement d'oxigen dissolt ($mg\ O_2\ l^{-1}\ h^{-1}$) mitjà entre la concentració de mitja tarda i la de la matinada del dia següent de totes les dades disponibles per a cada compartiment. Dades procedents del període entre 09/96 i 09/97.	162
Taula 4.3 Càlcul de la demanda d'oxigen de la columna d'aigua, per estimar l'ordre de magnitud de la respiració del plàncton (R_{plc}), a partir de mesures de demanda bioquímica d'oxigen en 5 dies (DBO_5), suposant consum constant. Es mostra la temperatura de les dues incubacions i la de camp (t_1 , t_2 , t_{camp} , respectivament), i les seves DBO_5 respectives (DBO_{5t_1} , DBO_{5t_2} , DBO_{5t_c}).	163
Taula 4.4 Velocitats de canvi parcials de concentració d'oxigen dissolt a la columna d'aigua en la capa superficial: es mostra l'oxigen dissolt (OD), el canvi net planctònic (CNP), el flux per l'aireig del vent (FOD_{vent}), i el flux per hidrodinamisme (FOD_{hid}).	166
Taula 4.5 Càlcul del flux d'oxigen provocat per l'aireig del vent, FDO_{vent} (segons Wanninkhof 1992). V.v.: velocitat del vent a 10 m d'altura (estàndard de les estacions meteorològiques). i.t.: interval de temps. Sc: Número de Schmidt. K: coeficient de transferència de l'oxigen dissolt.	167
Taula 4.6. Concentració de carboni orgànic dissolt (COD) i carboni orgànic particulat (COP) a la columna d'aigua de la badia dels Alfacs en gener de 1997 i setembre de 1998. Els codis corresponen als del llistat de la Figura 4.2.....	171
Taula 4.7 Correlacions parcials entre consum d'oxigen dissolt (OD), estimat a través del canvi de concentració del carboni orgànic dissolt (COD) més carboni orgànic particulat (COP), i a través de la demanda bioquímica d'oxigen en 5 dies (DBO_5) observada. S'ha assumit la relació estequiomètrica molar entre carboni i oxigen de 1:1. Incubacions a 15 ° C.....	172
Taula 4.8 Estimes de producció bruta del plàncton (PPB_{plc}), velocitats de canvi parcials de concentració d'oxigen dissolt a la columna d'aigua en la capa superficial i percentatges parcials relatius a la PPN_{plc} (% PPN_{plc}). Les altres variables mostrades són l'oxigen dissolt (OD), el canvi net planctònic (CNP), el flux per l'aireig del vent (FOD_{vent}), el flux per hidrodinamisme (FOD_{hid}), la producció primària neta del plàncton (PPN_{plc}), la respiració del plàncton (R_{plc}). Les últimes tres columnes fan referència al percentatge de la PPN_{plc} que significa el valor de flux a causa del vent (Vent), hidrodinamisme (Hid) i respiració del plàncton (R).	175
Taula 4.9 Productivitat del plàncton ($PB_m^{Cl.a}$ i $PN_m^{Cl.a}$), a partir d'estimes de producció bruta (PPB_{plc}) i neta (PPN_{plc}), respectivament, i la concentració de clorofil·la a (Cla), per a cada estació climatològica.....	176
Taula 4.10 Recull de productivitats del fitoplàncton ($P_m^{Cl.a}$), convertides ¹ a mgO_2 ($mg\ Cl.a$) ⁻¹ h ⁻¹ . Les produccions descrites en els treballs (Prod.) fan referència a produccions netes (N), brutes (B) o sense especificar en la referència ("?"), així com també ha passat amb la descripció del metodologia, que no ha pogut ser esbrinada en tots els casos ("?").	182
Taula 5.1. Coeficients dels polinomis de 3r ordre que descriuen la dinàmica temporal de biomassa de les dues espècies de macroalgues, per compartiments. La funció general és $B(T) = B_{m\grave{a}x} (B_0 + aT + bT^2 + cT^3)$	197

Taula 5.2. Percentatge de dies en què la temperatura mínima de l'aire és igual o inferior del valor crític de 3.7 °C. El període d'hivern inclou els mesos de desembre a març.....	201
Taula 5.3. Irradiància subaquàtica (I_b) que travessa la mata de rodòfits ramificats en funció de la seva biomassa acumulada (Biom), per a diferents nivells d'irradiància incident a sobre seu. Per al seu càlcul s'ha fet servir el coeficient d'extinció de la llum respecte la biomassa algal de $+0.00274 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$	218
Taula 5.4. Balanç d'oxigen de les macroalgues. Calculat amb les estimes de producció primària neta i respiració de les macroalgues, a partir de les mitjanes estacionals sobre els valors representats a la Figura 5.16.	220
Taula 5.5. Respiració estimada del sediment nu, sense macroalgues. Aquests resultats provenen de regressions lineals de les dades mostrades a la Figura 5.17.....	222
Taula 5.6. Balanç global d'oxigen del bentos, incloent la contribució de les macroalgues i del sediment. Els valors de producció neta bentònica provenen de les estimes de producció primària neta per a les macroalgues (mitjanes estacionals a partir dels valors de la Figura 5.16) més les estimes de la respiració del sediment nu de cada estació climatològica a partir dels valors de la Taula 5.5.	223
Taula 5.7. Reducció total de la irradiància (%) en funció de la biomassa macroalgal (g PS m^{-2}) per a cada escenari lumínic. Aquesta reducció s'ha calculat amb el quocient entre la irradiància PAR sota les macroalgues i la Irradiància PAR aèria sense núvols. Els codis I1 a I5 dels escenaris d'irradiància són els explicats en el text i en la Figura 5.18.....	223
Taula 6.1. Paràmetres, funcions de forçament i principals variables calculades. (Llegenda de codis emprats en els gràfics i taules d'aquest capítol).	246
Taula 6.2. Dimensions de la badia considerades en els càlculs.....	248
Taula 6.3. Contribució parcial d'entrada o sortida d'oxigen a la badia dels Alfacs per cada procés involucrat en el balanç (la part superior en $\text{mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, la part inferior en % respecte el total de guanys i pèrdues per separat). Les dades referents a macroalgues provenen de les zones específiques on hi creixen, però s'han expressat aquí respecte m^2 total de la badia i no només respecte el m^2 del lloc on hi creixen. Explicació dels codis a la Taula 6.1.	251
Taula 6.4. Índex Producció Bruta : Respiració (PB:R) del plàncton i bentos de la badia dels Alfacs. 260	
Taula 6.5. Rang natural de variació de tot un any per un costat, i del mes de setembre en concret, per l'altre, de determinats paràmetres ecològics (<i>funcions de forçament</i> en el model). Veure unitats i descripció dels codis de les variables a la Taula 6.1. A la columna observacions s'ha inclòs el capítol de la tesi d'on surten les dades emprades aquí. PN = Producció neta, PB = Producció bruta.	262

Annex G. Nota legal de la tesi doctoral

Annex G. Nota legal de la tesi doctoral

G.1. Llicència de Copyright

Aquesta tesi es troba sota als termes de la llicència de Copyright: “**Reconeixement-CompartirIgual 2.5 Espanya**” de Creative Commons, excepte en els llocs on es diu explícitament el contrari.

Copyright 2007 Xavier de Pedro Puente



Reconeixement-CompartirIgual 2.5 Espanya - <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/es/>



Sou lliure de:

- copiar, distribuir i comunicar públicament l'obra
- fer-ne obres derivades
- fer un ús comercial de l'obra

Amb les condicions següents:



Reconeixement. Heu de reconèixer els crèdits de l'obra de la manera especificada per l'autor o el llicenciador.



Compartir amb la mateixa llicència. Si altereu o transformeu aquesta obra, o en genereu obres derivades, només podeu distribuir l'obra generada amb una llicència idèntica a aquesta.

- Quan reutilitzeu o distribuïu l'obra, heu de deixar ben clar els termes de la llicència de l'obra.
- Alguna d'aquestes condicions pot no aplicar-se si obteniu el permís del titular dels drets d'autor.

Els drets derivats d'usos legítims o altres limitacions reconegudes per llei no queden afectats per l'anterior

Això és un resum fàcilment llegible del text legal (la llicència completa), accessible aquí: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/es/legalcode.ca>

G.2. Clàusula d'ús no militar

"Queda absolutament prohibida la utilització, recerca i desenvolupament, de manera directa o indirecta, de qualsevol de les aportacions científiques pròpies de l'autor que es presenten en aquesta memòria, per part de qualsevol exèrcit del món o per part de qualsevol grup armat, per a qualsevol ús militar i per a qualsevol altre ús que atempti contra els drets humans o contra el medi ambient, si no és amb el permís escrit de totes les persones del món."

English:

"It is strictly prohibited to use, to investigate or to develop, in a direct or indirect way, any of the scientific contributions of the author contained in this work by any army or armed group in the world, for military purposes and for any other use which is against human rights or the environment, unless a written consent of all the persons in the world is obtained"

Més informació:

<http://www.prouinvestigacionmilitar.org/clausula.htm>



**FpP: c/ Casp, 31, 2n 1a A - 08010 Barcelona - info@fundacioperlapau.org -
Tel. 93 302 51 29**