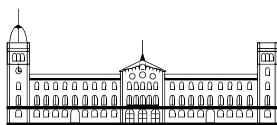




2007

**"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



Capítol 7. Conclusions

Capítol 7 . Conclusions

Les conclusions que s'extreuen del treball presentat són detallades i discutides en cada capítol. Algunes d'elles concorden amb el que se sabia, o es creia saber, sobre el funcionament de la badia dels Alfacs. Altres, quant menys, sorprenen. El possible origen de les discrepàncies també ha estat discutit en cada capítol. No obstant, un cop finalitzada la memòria és bo recopilar a mode de conclusions generals alguns aspectes que semblen rellevants per a un millor enteniment dels processos que governen el comportament de la badia i que han de tenir-se en compte en treballs posteriors.

La major part del flux net d'entrada d'aigua de mar a la badia sembla estar generat per l'aport d'aigua dolça, que pot provocar més del 50 % de la velocitat instantània total d'entrada d'aigua salada a la badia. El vent, per la seva banda, també pot influir-hi, encara que secundàriament. Són igualment secundaris els canvis en la pressió atmosfèrica, malgrat en situacions puntuals poden ser responsables de fins a un terç del flux net residual diari.

Les concentracions de nutrients de la badia no semblen haver canviat massa en la dècada dels anys 90. Per contra, s'ha detectat un augment de nitrogen inorgànic dissolt (respecte 1986-87) als canals de desguàs dels arrossars. Donat que la concentració de nitrogen al tram baix del riu Ebre ha baixat clarament a partir de mitjans dels anys 90, aquest increment de nutrients a l'aigua de desguàs cal atribuir-lo a canvis en les pràctiques agrícoles del delta.

Alfacs té un cicle hidrològic governat principalment per activitats agrícoles a diferència de l'habitual en estuaris micromareals que és per cicle estacional; d'aquí s'explica que les hipòxies estiguin menys lligades al període posterior a l'època de precipitacions. El període de canals oberts a Alfacs es situa habitualment entre maig i octubre, tot i que de vegades hi ha variacions importants en el flux cap a la badia al llarg d'aquests mesos també a causa de necessitats puntuals associades a la pràctica agrícola.

Les situacions d'hipòxia-anòxia no es donen de forma constant cada any (de fet, dels dos anys estudiats més intensament es va donar només en un d'ells). I les diferències entre anys no deuen atribuir-se de forma simple a una sola causa.

Tampoc l'acabament dels períodes hipòxics es pot atribuir estrictament a una sola causa (més enllà del descens a la tardor – hivern de les temperatures que ha d'utilitzar-se com a marc de referència).

La producció bruta fitoplanctònica a la Badia dels Alfacs oscil·la entre 60 i 227 mg O₂ m⁻³ h⁻¹, amb productivitats netes entre 20.3 i 63.8 mg O₂ mg Cl.a⁻¹ h⁻¹. Durant els mesos d'estiu, les produccions brutes i netes del plàncton són les més baixes de l'any.

La cubeta de la badia dels Alfacs estava recoberta quasi totalment el 1997 per dues espècies de macroalgues: el cloròfit sifonal *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux, i el rodòfit ramificat *Alsidium corallinum* C.Agardh, fet que contrasta amb la baixa cobertura existent al 1987. La colonització de la badia per part de *C. prolifera* podria estar relacionada amb l'increment de les temperatures mínimes hivernals en l'època estudiada, que facilitarien la seva supervivència. Les dues macroalgues van presentar distribucions de biomassa pràcticament complementàries a la cubeta de la badia. L'extrem oest estava dominat majoritàriament per poblacions de *C. prolifera*, l'extrem est dominat majoritàriament per poblacions d'*A. corallinum*, i la zona central per una barreja d'ambdues. Les biomasses van oscil·lar habitualment entre 0 i 620 g PS m⁻², depenent de l'espècie, lloc i moment de l'any. La màxima biomassa de *C. prolifera* s'assoleix en primavera, mentre que en altres poblacions d'aquesta espècie, aquests màxims es donen una mica més tard, a l'estiu o bé a la tardor. Aquest fet podria estar relacionat amb què als Alfacs la llum al fons és màxima a finals d'Abril, i disminueix cap a finals de primavera i estiu, a causa d'un increment de turbulència. El fet de que ambdues espècies estiguin defensades químicament (caulerpenina a *Caulerpa prolifera*, i àcid domoic a *Alsidium corallinum*) suggereix que pot ser la seva baixa palatabilitat la responsable de les grans acumulacions de biomassa.

L'extinció de la llum a la mata algal és molt important, i fa que la irradiància que arriba a sota d'aquesta mata sigui d'entre el 15 i el 50% del que hi arriba a la part superior, deixant arribar al sediment només entre l'1% i el 9% de la llum incident a la superfície de l'aigua.

Una gran part de dies de l'any (prop del 30%), les espècies fotosintetitzen per sota de la llum de saturació. Les millors condicions de llum es donen a la primavera, moment en que són freqüents dies amb més de 10 hores de producció a saturació de llum. El màxim de producció primària bruta es dona al juny per ambdues espècies de macroalgues, tot i que no mostren les mateixes produccions màximes a les mateixes zones de la badia. Cal notar que el setembre és un mes en que les produccions són molt baixes després dels màxims estivals dels mesos previs. En canvi, les respiracions macroalgals de setembre no són les més altes de l'any a les estacions *Mig* i *Cua*, sinó que ho són a finals de primavera.

El balanç anual d'oxigen de tot el bentos és lleugerament negatiu. Només és positiu a primavera, i els valors més negatius són durant la tardor i l'hivern. Per zones, és positiu en balanç anual per l'estació *Boca* i *Mig*, i negatiu tant per a l'estació *Cua* com per a tota la badia en conjunt. En canvi, el balanç net anual de les macroalgues pel conjunt de la badia és positiu i de prop de 400 g O₂ m⁻² a⁻¹, amb una respiració anual mitjana de 900 g O₂ m⁻² a⁻¹, essent la respiració del sediment de l'ordre de 500 g O₂ m⁻² a⁻¹.

Els macròfits poden exercir una paper molt important en el control de les anòxies. Les simulacions dels balanços bentònics d'oxigen a finals d'estiu amb columna d'aigua estratificada indiquen que en absència d'aports hidrodinàmics d'oxigen, l'anòxia a la capa de fons de l'estació *Cua* es pot assolir entre uns pocs dies i les quatre setmanes, o bé no assolir-se, depenent de l'escenari de llum i biomassa considerat. En la situació més dolenta (molt baixa irradiància i biomassa de macròfits màxima) i partint d'una situació de normòxia, s'arribaria al nivell d'anòxia en un termini de 3 dies. En una situació d'irradiància alta i també alta biomassa algal, la situació de normòxia es mantindria indefinidament. Així, les macroalgues juguen un doble paper: augmenten en general la producció neta de la badia en balanç anual, però també fan augmentar el risc de davallades fortes d'oxigen dissolt de la columna d'aigua en situacions puntuals com les de finals d'estiu a la badia dels Alfacs.

El balanç net anual de tot l'ecosistema és lleugerament positiu en còmput anual ($26.5 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Són clarament positius els balanços parcials d'hivern i estiu amb prop de $700 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ cadascun, i clarament negatius el de primavera ($-860 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) i el de tardor ($-303 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). El fitoplàncton és el productor net d'oxigen més important en totes les estacions climatològiques, i l'únic en algunes d'elles com a la tardor, en còmput global. En segon terme, per quantitat d'aports nets d'oxigen, es troben les macroalgues.

El sediment representa la principal sortida d'oxigen de l'aigua de la badia a l'estiu i tardor. L'intercanvi amb l'atmosfera juga un paper important a l'hivern i primavera, però lògicament només a la capa superficial. La respiració del plàncton és la segona sortida d'oxigen en importància, després del sediment.

Per terme mig, la badia exporta oxigen tant cap a l'atmosfera com cap a mar obert. La magnitud d'aquests fluxos és una mica inferior a la dels processos biològics. En casos puntuals, l'intercanvi amb l'atmosfera pot incrementar-se (fins a representar valors que superen la producció planctònica) o invertir-se (entrades netes de l'atmosfera cap a l'aigua).

L'ajust entre l'oxigen dissolt observat i l'estimat pel model desenvolupat en el marc d'aquesta tesi ("*OMMEL - Oxygen Model for Microtidal Estuaries and Lagoons*") és bo la major part de l'any analitzat (1997), si bé hi apareixen discrepàncies considerables en alguns moments concrets. L'ajust és alt excepte en els mesos en que els canals de rec i desguàs dels arrossars es troben tancats (finals de tardor - hivern). Aquesta discrepància es podria explicar per una subestimació tant de l'entrada d'oxigen per hidrodinamisme advectionu o d'intercanvi (difusiu) horitzontal i també vertical, mediats per efecte de seques i ones internes com dels fluxos reals d'aigua dolça entrats a la badia (via canals i/o aigua freàtica) durant aquests mesos de novembre a març.

L'anàlisi de sensibilitat del model indica que la variable que més pot afectar l'oxigen dissolt és la terbolesa de l'aigua. Per darrera d'aquesta, en importància, es troben la biomassa de fitoplàncton i la seva productivitat, i la respiració del sediment, en el cas de la capa inferior, i a la capa superior, la velocitat del vent, la irradiància de saturació del fitoplàncton, i la demanda bioquímica d'oxigen. L'efecte relatiu dels augments del flux d'entrada d'aigua dolça per qualsevol dels tres canals principals que hi vessen aigua (o tots tres alhora) sobre l'oxigen dissolt de la badia és molt baix si es considera tot l'any, però en canvi, és molt superior si és té en compte només el més de setembre, essent el flux pel canal de la sèquia del Ala el que té un major efecte respecte el flux de qualsevol de tots tres canals per separat. Una altra idea que s'extreu i que s'obté de la calibració del model és que una part important (de fins al 80%) de la clorofil·la a de la capa fonda a finals d'estiu és fotosintèticament inactiva.

La presència de macroalgues sembla haver fet canviar el signe del balanç d'oxigen de la capa fonda. Així, mentre que a finals dels 80 el balanç net mitjà anual de la capa fonda era negatiu ($-0.55 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$), l'estimació d'aquest balanç en aquesta tesi (finals dels 90, amb macròfits) dona un valor de $+0.50 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$. En conjunt, l'ecosistema (incloent també els processos físics) té les entrades i sortides força equilibrades en balanç anual (balanç net inferior a $+0.01 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$), per a tota la badia i tota la columna d'aigua. Només el compartiment bentònic de l'estació *Cua* pot ser considerat lleugerament heterotròfic en valors acumulats anuals.

El balanç net de producció biològica de la badia dels Alfacs a finals dels anys 90 va ser de $326 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, atribuïbles quasi en la seva totalitat al fitoplàncton. Atenent a Nixon (1995), la badia dels Alfacs quedaria situada dins la categoria de les badies entre mesotròfiques i eutròfiques. A més, l'exportació d'oxigen cap a l'atmosfera representa una exportació paral·lela de carboni de l'ordre de $110 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; dels quals s'estima que s'exporten de l'ordre de $30 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ cap a mar obert, i la resta, $80 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, és el que versemblantment s'acumula en el sediment.

Del conjunt d'aquesta tesi es desprèn que les situacions d'hipòxia no són causades per un factor únic, aïllat i identificable, sinó per la coincidència en l'espai i en el temps de tot un seguit de condicions, com poden ser l'alta temperatura, terbolesa de la columna d'aigua, alta biomassa de macròfits i respiració del sediment i absència de vents, entre d'altres. La situació hipòxica sembla mantenir-se mentre aquestes condicions no canviïn substancialment i hi hagi poca renovació de l'aigua de fons, sigui per manca de flux advection per intrusió d'aigua salada exterior, o bé per manca de flux no advection amb la capa superior. Finalment, la hipòxia minva i pot arribar a desaparèixer quan existeixen vents forts ocasionals o més lleus però continuats, que trenquin o erosionin l'estratificació de la columna d'aigua, o quan hi ha renovació de l'aigua fonda de la badia per entrada d'aigua marina de l'exterior, causada per exemple, pels aportos d'aigua dolça pels canals.

De tot el que s'ha dit fins ara es pot deduir que el marge de maniobra per reduir el risc d'anòxies és petit. Potser el factor sobre el que es pot actuar és el flux d'aigua dolça d'entrada a la badia. En

aquest sentit, convé garantir un mínim cabal d'aigua dolça que arribi a la badia per tal que no disminueixi perillosament la circulació estuariana, especialment en els moments més crítics com és a finals d'estiu. Com més aigua s'hi aboqui per algun dels canals més allunyats de la boca d'entrada a la badia (com el canal de la sèquia de l'Ala), més difícil és que apareguin o es mantinguin les hipòxies.

Conclusions (English version)

Conclusions extracted from this memory are detailed and discussed in each chapter. Some of them agree with what it was previously known, or thought to be known, about Alfacs bay functioning. Others are, at least, surprising. The possible source of the discrepancies has also been discussed in each chapter. Nevertheless, once the memory is finished, it is wise to collect as a sort of general conclusions some aspects that looked like relevant for a better understanding of the processes ruling the bay behavior, which have to be taken into account in further works.

The greater part of the saltwater net inflow to the bay seems to be produced by freshwater inflow, which can trigger more than the 50 % of the instantaneous total velocity of marine water inflow to the bay. The wind, on its side, can also influence it, although secondarily. Changes in atmospheric pressure are also secondary, although in punctual situations can be responsible for up to a third of the net daily residual flow.

Nutrient concentrations doesn't seem to have changed that much in the decade of the nineties. On the contrary, an increase in dissolved inorganic nitrogen (respect to 1986-87) has been detected in the drainage channels from the rice paddies. Since nitrogen concentration in the lower reaches of Ebro River have clearly decreased after mid nineties, this increase in drainage water nutrients has to be attributed to changes in the agricultural practices at the Ebro River delta.

Alfacs bay has an hydrological cycle ruled mainly by agricultural activities, in contrast with the common behavior in microtidal estuaries which is ruled by seasonal cycle; it can be explained from here that hypoxias are less tight to period after the months of more precipitation. Period of open channels in Alfacs is frequently located between May and October, even if sometimes there are important variations in the flow to the bay along these months also because of the occasional needs associated to agricultural practice.

Hypoxic-anoxic situations do not occur as a constant event every year (in fact, it appeared only in one year out of the two more intensely studied). And differences among years should not be simply attributed to a single cause alone.

The end of the hypoxic periods can not be attributed either strictly to one single cause (beyond the decrease in temperature in autumn-winter, which has to be considered as a reference frame).

Phytoplankton gross production in Alfacs bay varies between 60 and 227 mg O₂ m⁻³ h⁻¹, with net productivities between 20.3 and 63.8 mg O₂ mg Chl.a⁻¹ h⁻¹. During the summer months, the gross and net plankton productions are the lowest of the year.

Alfacs bay basin was almost totally covered in 1997 by two species of macroalgae: the siphonal chlorophyte *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux, and the branched rhodophyte *Alsidium corallinum* C.Agardh, which contrasts with the low coverage existing back in 1987. The bay colonization by *C. prolifera* could be related with the increase in winter minimum temperatures for the studied period, which would facilitate its survival. The two macroalgae showed biomass distributions in the bay basin which are practically complementary. Western zone was mostly dominated by *C. prolifera*, eastern zone mostly dominated by *A. corallinum*, and central zone by a mixture of both. The biomasses were usually between 0 and 620 g PS m⁻², depending of species, place and time of year. The maximum biomass of *C. prolifera* is reached in spring, whereas in other populations of this species, these maximum occur a bit later, in summer or in autumn. This fact might be related with the one that light in the bottom of Alfacs is maximum at the end of April, and diminishes at the end of spring and in summer, due to an increase in turbidity. The fact that both species are chemically defended (caulerpenine in *Caulerpa prolifera*, and domoic acid in *Alsidium corallinum*), suggests that their low edibility can be the responsible for the big biomass accumulations.

Light extinction in algal mat is very important, and it produces that the irradiance reaching below this mat is between 15 and 50% of what reaches the top of the mat, allowing to arrive at sediment only between 1 and 9% of the incident light at the water surface.

A big part of days of the year (near 30%) species photosynthesize below saturation light. The best light conditions occur in spring, when days with more than 10 hours of production at saturation of light are frequent. The maximum gross primary production is in June for both macroalgal species, even if they do not show the same maximum productions at the same bay zones. It is necessary to state that September is a month in which productions are very low after the summer maxima in previous months. However, macroalgal respirations in September are not the highest of the year in stations "Middle" (Mig) and "Tail" (Cua), but they are by the end of spring.

Annual oxygen balance for all benthos is slightly negative. It's only positive in Spring, and the more negative values are during autumn and winter. By zones, it is positive in annual balance for station Mouth (Boca) and Middle (Mig), and negative in station Tail (Cua) and also for all the bay as a whole. Instead, annual net balance of macroalgae for the whole bay is positive and close to 400 gO₂ m⁻² y⁻¹, with an average annual respiration of 900 gO₂ m⁻² y⁻¹, being respiration of sediment around 500 gO₂ m⁻² y⁻¹.

Macrophytes can play a very important role in the control of anoxic events. Simulations of benthic oxygen balances for the end of summer with stratified water column indicate that in absence of hydrodynamic oxygen inputs anoxia in station Tail (Cua) can be attained between a few days and four weeks, or not attained at all, depending on the light and biomass scenario considered. In the worst situation (very low irradiance and maximum macrophytes biomass) and starting from a normoxic situation, the level of anoxia would arrive in 3 days. On the other hand, in a situation of high irradiance and also high algal biomass, the normoxic situation would remain indefinitely. Thus, macroalgae play a double role: they increase, in general, the net production of the bay in annual balance, and they also increase the risk of strong dissolved oxygen decreases of the water column in punctual situations, like the end of summer in Alfacs bay.

The net annual balance of the whole ecosystem is slightly positive in annual budget ($26.5 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), being clearly positive the partial winter and summer balances, with near $700 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ each, and clearly negative in spring ($-860 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and also, to a lesser extent, in autumn ($-303 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Phytoplankton is the most important dissolved oxygen net producer in all climatological stations, and the only one in some of them, as a the autumn, in global summary. Macralgae are in second position in terms of net oxygen production.

Sediment represents the main exit of oxygen from water in summer and autumn. Exchange with atmosphere plays an important role in winter and spring, but logically, only in the surface layer. Plankton respiration is the second exit of oxygen in importance, after sediment.

As an average, the bay exports oxygen to the atmosphere and to the open sea. The magnitude of these flows is a little lower than the one of biological processes. In punctual cases, exchange with atmosphere can be increased (up to represent values higher than the ones of plankton production) or reverted (net inflows from atmosphere to the water).

The adjustment between observed and estimated dissolved oxygen at the model developed in the frame of this Ph.D. thesis (“OMMEL - Oxygen Model for Microtidal Estuaries and Lagoons”) is good for the greater part of the analyzed year (1997), even if some considerable discrepancies arise in some concrete moments. Adjustment is high except in the months in which drainage channels from the paddies are closed (end of autumn - winter). This discrepancy could be explained by underestimation as much of oxygen entrance by advective or diffusive (exchange) horizontal and vertical hydrodynamics, mediated by the effect of “seiches” and internal waves, as of the real freshwater inflows to the bay (through channels and/or phreatic water) during these months of November to March.

Model sensitivity analyses indicate that the variable that can affect dissolved oxygen the most is water turbidity. After this one, in importance, are located phytoplankton biomass and its productivity, and sediment respiration, in case of lower layer, and at upper layer, wind speed, saturation irradiance for phytoplankton, and biochemical oxygen demand. Relative effect of increases in freshwater inflow for any of the three main channels that pour water (or all three at a time) on dissolved oxygen of the bay is very low if the whole year is considered, but instead, it is very higher if only September is taken into account, being the flow through the "Sequia de l'Ala" channel the one with a greater effect respect the flow of any of all three channels separately. Another idea that can be extracted and which is obtained from model calibration is that an important part (of up to 80%) of chlorophyll a in the lower layer at the end of summer is inactive photosynthetically.

The presence of macroalgae seems to have shifted the sign of oxygen balance in the lower layer. Thus, while by the end of the eighties the net annually averaged balance was negative ($-0.55 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$), the estimation of this balance within thin Ph.D. thesis (end of nineties, with macrophytes) produces a value of $+ 0.50 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$. As a whole, the ecosystem (including also physical processes) has oxygen incomes and outcomes quite balanced in annual basis (net balance lower than $+0.01 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$), for the whole bay and all water column. Only the benthic compartment of station "Tail" ("Cua") can be considered slightly heterotrophic in annually accumulated values.

The net balance of biological production in Alfacs bay to the end of the nineties was ca. $326 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, almost completely attributable to phytoplankton. Attending to Nixon (1995), Alfacs bay would remain situated in the category between mesotrophic and eutrophic bays. Besides, oxygen exportation to the atmosphere necessarily, and in the long run, represents a parallel exportation of carbon of around $110 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$; from which it is estimated that ca. $30 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ are exported to open sea, and the rest, ca. $80 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, is what presumably is accumulated in the sediment.

From this thesis as a whole, it can be deduced that hypoxic situations are not caused by an only factor, isolated and identifiable, but for the coincidence in space and time of a set of conditions, as they could be high temperature, water column turbidity, high macrophyte biomass and sediment respiration and wind absence, among others. Hypoxic situation seems to be kept while these conditions do not substantially change and there is little deep water renewal, being by lack of advective flow by intrusion of salt water from the exterior, or by lack of non-advective flow with the upper layer. Finally, hypoxia decreases and can end up disappearing when either occasional strong winds or weaker winds but more continued, which break or erode water column stratification, or when there is deep water renewal by external marine water entrance, caused by, for instance, freshwater inflow through the channels.

From all what has been reported up to now, it can be deduced that the range of manoeuvre to reduce the risk of anoxia is low. Maybe the factor on which management action can be taken is the freshwater inflow to the bay. In this sense, a minimal discharge of freshwater reaching the bay has to be guaranteed, so that estuarine circulation does not dangerously diminish, especially in the more critical times of the year like at the end of summer. The more water is poured through any of the further channels from the mouth of entrance to the bay (like “Sèquia de l'Ala” channel), the more difficult is the occurrence or maintenance of hypoxic events.

