

# BANCS D'ALIMENTS A LA PLATAFORMA ANTÀRTICA PROFUNDA

o tot els que els *xucladors de llot* ens poden dir sobre els ecosistemes marins de l'Antàrtida i el canvi climàtic



Escrit per

**Craig R. Smith**

Departament d'Oceanografia de la Universitat de Hawaii

Traduït de l'anglès per Bernat Pujadas

La plataforma continental antàrtica és freda (<1°C), profunda (~550 m) i extensa, ja que ocupa aproximadament l'11% de la superfície total de la plataforma continental de la Terra (Clarke i Johnston, 2003). Les aigües de la plataforma antàrtica també experimenten un dels cicles productius més intensament estacionals de l'oceà global. Durant els mesos de l'hivern, la columna d'aigua de l'oceà Antàrtic és fosca i coberta de gel, amb una limitació de la llum que impedeix la producció primària. En canvi, els mesos de l'estiu es caracteritzen per uns nivells ele-

vats de llum solar i nutrients que estimulen intenses proliferacions de fitoplàncton i grans alliberaments d'algues de gel arran de la fosa del gel del mar. Sembla probable que les proliferacions de fitoplàncton i l'alliberament de les algues siguin la causa dels intensos impulsos de detritus fitoplanctònic al fons de la plataforma. Per tant, la plataforma antàrtica constitueix un escenari fascinant per investigar les respostes de les comunitats del fons marí davant d'unes de les variacions estacionals més acusades de la producció fitoplanctònica del planeta.

© image de base: www.flickr.com/photos/fofca011

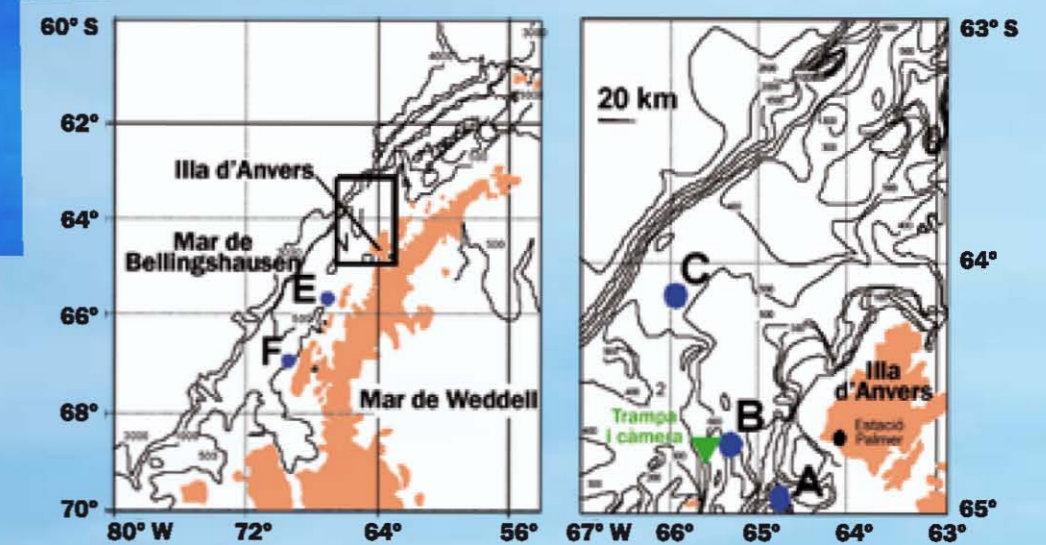


Figura 1.

Mapa de la regió de la península Antàrtica on s'indiquen les ubicacions de les estacions primàries A, B i C i les estacions secundàries E i F del projecte FOODBANCS. La trampa de sediments i les amarres de la càmera de fotografia a intervals estaven situades a prop de l'estació B.

El 1999, David DeMaster, de la Universitat Estatal de Carolina del Nord, i jo vam iniciar el projecte FOODBANCS (*Food for Benthos on the Antarctic Continental Shelf*, és a dir, aliment per al bentos de la plataforma continental antàrtica) a fi d'investigar els impactes de l'intens –però sovint impredecible– règim productiu estacional antàrtic sobre l'ecologia de l'alimentació, els cicles de vida i els cicles biogeoquímics de l'ecosistema de la plataforma de l'oest de la península Antàrtica (Fig. 1). Vam triar aquesta regió per al nostre estudi perquè és un dels hàbitats més grans de la plataforma antàrtica, presenta uns nivells notables de biodiversitat i de novetat evolutiva i sembla que està experimentant un escalfament climàtic.

Quan vam començar les nostres investigacions, vam formular la «hipòtesi dels bancs d'aliments» per tal de predir les respostes de l'ecosistema bentònic davant de la proliferació/caiguda del cicle productiu de l'Antàrtida. En concret, vam plantejar el següent:

El desgel estival del gel marí i les proliferacions de fitoplàncton generen grans precipitacions de detritus algal al fons de la plataforma antàrtica, que constitueix una font sostinguda de carboni orgànic particulat (POC, en les seves formes en anglès) làbil, o banc d'aliments, per als detritívors bentònics durant els mesos hivernals, de baixa productivitat.

La presència d'un banc d'aliments bentònic podria afavorir els tipus tròfics (per exemple, els sedimentívors, coneguts afectuosament com a *xucladors de llot*) i les estratègies del cicle de vida (per exemple, la lecitotròfia i el desenvolupament directe) que depenen de l'obtenció d'energia dels sediments. Abans del nostre projecte ningú s'havia dedicat a investigar la importància, o fins i tot la incidència, dels bancs d'aliments bentònics de la plataforma antàrtica, ni tampoc a determinar si aquests bancs d'aliments tenen un paper en la nutrició i en els cicles de vida poc habituals de molts bentos antàrtics.

La comprovació de la hipòtesi dels bancs d'aliments va resultar ser una tasca de gran envergadura. Concretament, calia determinar el flux i la destinació del material de la proliferació estival que es troba al fons de la plataforma de l'oest de la península Antàrtica (OPA) i estudiar també la influència que té en la disponibilitat d'aliment i en els cicles biogeoquímics al llarg de l'any. Així doncs, vam reunir un equip internacional de científics dels Estats Units, el Regne Unit, Brasil i França per dur a terme l'àmplia gamma de mesuraments biològics i geoquímics necessaris.

Els nostres estudis han estat finançats de manera generosa per l'Oficina de Programmes Polars de la National Science Foundation (EUA), i Raytheon Company ens ha proporcionat un suport excel·lent per al nostre treball

de camp. A més, el finançament aportat per diversos organismes i institucions d'altres països ha facilitat la participació internacional. En els nostres estudis hem utilitzat trampes de sediments, mostrejadors, arrossegadors del fons marí, perfils radioquímics i fotografies del fons marí per tal d'avaluar la variabilitat temporal del flux i l'inventari del detritus generat arran de la proliferació de la plataforma antàrtica (Taula 1), així com també les respostes biològiques bentòniques resultants. Els nostres estudis han inclòs un esgotador programa de camp de cinc expedicions durant un període de 15 mesos. Les expedicions d'investigació les vam dur a terme al novembre de 1999 (abans de la proliferació de l'estiu de 2000), al març de 2000 (després de la proliferació), al juny de 2000 (al començament del període hivernal de gel marí), a l'octubre de 2000 (al final del període hivernal de gel marí) i al febrer de 2001 (poc després d'una segona proliferació estival) (Fig. 2). Cada expedició tenia una durada d'un mes i implicava viatjar a Punta Arenas, a Xile (un viatge d'anada i tornada de 4 dies), carregar el vaixell, travessar el cèlebremment tempestuós pas de Drake (un viatge d'anada i tornada de 10 dies) i dur a terme un treball de camp intensiu durant dues setmanes entre els icebergs,

sobre les aigües tempestuoses de l'oceà Antàrtic. Durant aquestes expedicions (Fig. 3) vam treballar amb un fred extrem, amb tempestes de neu, amb vents de 55 nusos i amb onades de 7 metres i mig, i, tanmateix, va ser una experiència extremadament gratificant. Després d'un període de 5 mesos entre icebergs i gel *pancake*, vam arribar a identificar-nos amb alguns dels primers exploradors de la regió de l'OPA, com ara Jean Charcot i Roald Amundsen.

Tal com vam plantejar en la nostra hipòtesi, vam observar una intensa estacionalitat en el flux de POC i clorofil·la-*a* (Cl-*a*) al fons de la plataforma de l'OPA, i una variabilitat interanual encara major. En concret, el flux de Cl-*a* i POC en l'interior de les nostres trampes de sediments (la mitjana al llarg d'interval de 3-4 mesos de desplegament de trampes) va variar amb un factor de multiplicació de 3-4 entre l'estiu i l'hivern de 2000 i amb un factor de multiplicació de 4-11 entre els estius de 2000 i 2001 (Fig. 4; Smith *et al.*, a revisió). Les fotografies de sèries temporals del fons marí a l'estació B van indicar que el període de flux altíssim observat durant l'estiu de 2001 es caracteritzava per una acumulació impulsada de fitodetritus verdós al fons marí (Fig. 4).

Tanmateix, la resposta bentònica a aquesta variabilitat estacional i interanual del flux va ser relativament dèbil. Per exemple, els inventaris de Cl-*a* dels sediments només variaven amb un factor de multiplicació de 3 entre els estius (Fig. 5), mentre que la diferència interanual del flux de Cl-*a* a les trampes presentava un factor de multiplicació d'11. Altres components orgànics làbils dels sediments, concretament els aminoàcids hidrolitzables enzimàticament (EHAA, en les seves sigles en anglès) –que són una mesura de la disponibilitat d'aliment dels sedimentívors–, també van mantenir uns nivells elevats i relativament constants en tots els nostres períodes de mostreig (Mincks *et al.*, a revisió). A més, el consum d'oxigen de les comunitats dels sediments de les estacions B i C va variar amb un factor de multiplicació de menys de 2 entre qualsevol dels cinc períodes de mostreig (davant d'una diferència màxima del flux de POC amb un factor de multiplicació de 12), i aquestes diferències no eren estadísticament significatives (Thomas *et al.*, 2004). Finalment, la biomassa microbiana dels sediments i l'abundància de macrofauna es van mantenir elevades i relativament constants al llarg de tots els períodes de mostreig (Mincks *et al.*, a revisió).

Vam examinar l'alimentació i l'emmagatzematge d'energia dels sedimentívors de la plataforma de l'OPA per determinar si poden alimentar-se durant tot l'any, a diferència d'alguns suspensívors antàrtics, que han de deixar d'alimentar-se durant els mesos de l'hivern, quan les concentracions de fitoplàncton són molt baixes (Barnes i Clarke, 1995). No vam observar cap indicatiu d'aturada hivernal de l'alimentació ni de declivi de les reserves energètiques a l'òrgan digestiu o en altres teixits de la majoria de sedimentívors de megafauna dominant de la zona del nostre estudi, inclosos els eriçons de mar *Sterechinus antarcticus* i *Amphipneustes*

Taula 1.

Resum parcial d'algunes dades i mesuraments compilats en el transcurs del projecte FOODBANCS.

Tipus de dades	Ubicació	Dates de les mostres	Variabls mesurades	Investigadors
Trampes de sediments	Trampes de sediments	Des. 99 – març 01, continu	Mass, C <sub>org</sub> , <sup>234</sup> Th i <sup>210</sup> Pb Flux	C. Smith, DeMaster
Fotografies a intervals	2 m <sup>2</sup> de fons marí est. B	Des. 99 – març 01, cada 12 h	Abundància i comportament de la megafauna Dinàmica de les traces	C. Smith, Sumida C. Smith, Sumida
Estudis amb vídeo del fons marí	Est. A, B, C i F	Des. 99, març 00, juny 00 Oct. 00, març 01	Abundància i estructura de les comunitats de megafauna	C. Smith, Sumida
Incubacions de les mostres de sediments	Est. A, B i C	Des. 99, març 00, juny 00 Oct. 00, març 01	Consum d'oxigen de les comunitats dels sediments	DeMaster, Thomas
Mostres megacore	Est. A, B, C, E i F	Des. 99, març 00, juny 00 Oct. 00, març 01 (E i F només març 01)	Estructura de les comunitats de macrofauna Perfils dels sediments d'ATP, EHAA i Cl- <i>a</i> Abundància de foraminera i respostes alimentàries a l'impuls estival Perfils d'espai poral d'O <sup>2</sup> , nitrat, sulfat, dentrificació, reducció de sulfat Perfils de sediments de <sup>14</sup> C, <sup>234</sup> Th, <sup>210</sup> Pb, POC Cinètica de dissolució de sílice biogènica Estructura de la comunitat de nematodes Biomarcadors lipídics en els sediments	C. Smith, Glover, Sumida Mincks, C. Smith Suhr, Gooday DeMaster, Thomas, McClintic, Boehm, Hartnett DeMaster, Thomas, McClintic Gallinari, Ragueneau Ferrero, Lambshead Netto, Wolff, Wigham, Galley
Arrossegament de llúdris	Est. A, B, C, E i F	Des. 99, març 00, juny 00 Oct. 00, març 01 (E i F només març 01)	Patrons reproductius de la megafauna dominant Estructura de les comunitats de megafauna Anàlisi isotòpica estable de l'estructura de la xarxa alimentària Biomarcadors lipídics en els sediments Proporcions d'RNA/DNA en la megafauna	Galley, Tyler C. Smith, Sumida, Mincks Mincks, C. Smith Wigham, Galley, Netto, Wolff Mincks, Smith
Mostres de Kasten	Est. A, B i C	Un mes en cada estació	Perfils de sediments profunds de <sup>14</sup> C, <sup>210</sup> Pb, i POC	DeMaster, McClintic
Mostres de caixa	Est. A, B i C	Des. 99, març 00, juny 00, oct. 00, març 01	Diversitat d'espècies de macrofauna	C. Smith, Sumida, Glover



Figura 3. A. Una tarda inusualment agradable a la plataforma antàrtica. B. Processament d'una mostra d'arrossegament de llúdris en un matí fred. C. Una mostra megacore acabada d'arribar a coberta.

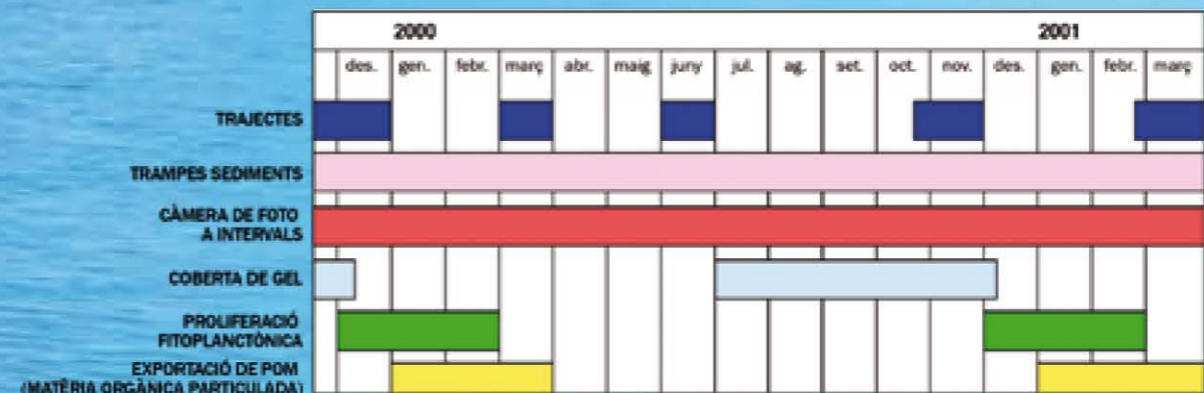


Figura 2. Intervals temporals de les principals activitats de camp del projecte FOODBANCS i les variables ambientals de la regió de la plataforma de l'oest de la península Antàrtica.

Figura 4.

**Diagrama superior:** Flux de carboni orgànic particulat en l'interior de les trampes de sediments amarrades a 150-170 m per sobre del fons marí a l'estació B del projecte FOODBANCS. Mitjanes  $\pm 1$  error estàndard. **Diagrama inferior:** Flux de clorofil·la-a en l'interior de les trampes de sediments del projecte FOODBANCS (eix de les y, esquerra) i resultat del fitodetritus (eix de les y, dreta) a partir de les fotografies del fons marí a intervals per oposició al desplegament inicial de la càmera, el 8 de desembre de 1999. Els resultats del fitodetritus són els següents: 0 = absència de fitodetritus verdós visible al fons marí, 1 = lleugera presència de fitodetritus visible, 2 = coberta entra modesta i important de fitodetritus en el 50-80% del fons marí, 3 = important coberta de fitodetritus en >80% del fons marí. Dades de Smith i DeMaster, a revisió, i Mincks *et al.*, a revisió.

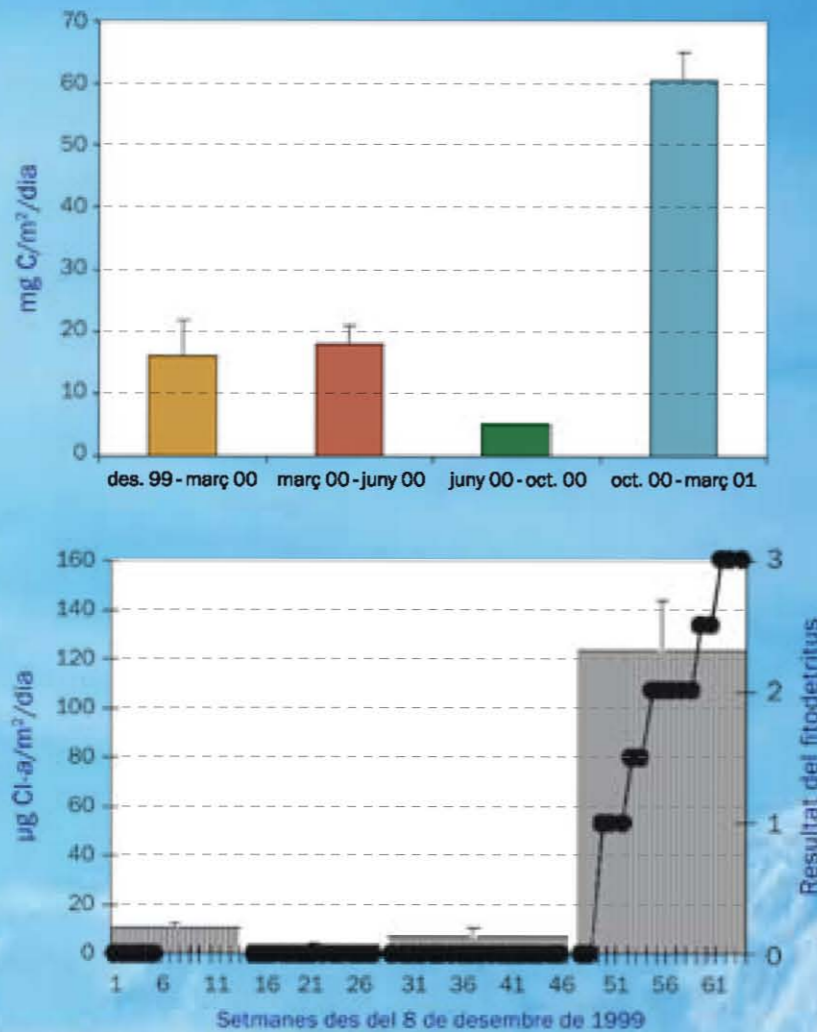
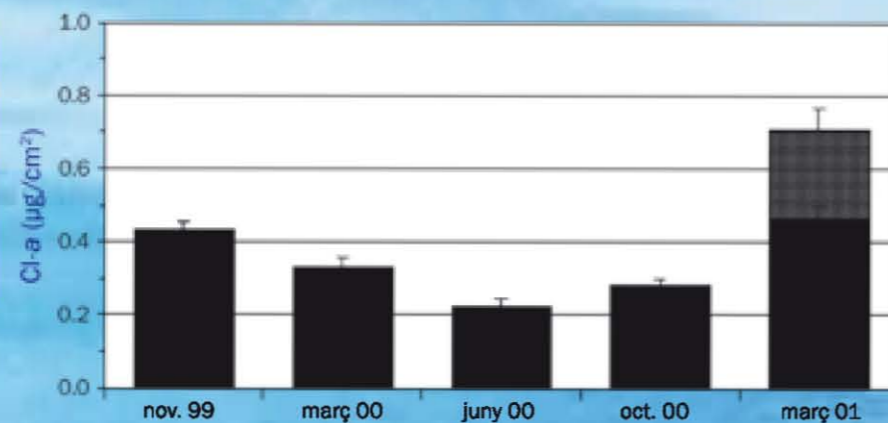


Figura 5.

Inventari de clorofil·la-a ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) en els 10 cm superiors del sediment a l'estació B del projecte FOODBANCS. La part puntejada de la barra de març 01 representa els  $\mu\text{g Cl-a cm}^{-2}$  a la capa de fitodetritus. Mitjanes de 5 mostres  $\pm 1$  error estàndard. Modificat amb relació a Mincks *et al.*, a revisió.



lorioli i el cogombre de mar *Protelpidia murrayi*. Un altre cogombre de mar, *Peniagone* sp., també es va alimentar durant tot l'hivern, malgrat que el teixit del seu òrgan digestiu (que en els cogombres de mar és un òrgan d'emmagatzematge d'energia) presentava una lleugera variació estacional pel que fa a la composició proteínica i lipídica (Galley, 2003). L'ús innovador de radiotracadors d'aparició natural també

ha mostrat indicis contundents d'una activitat hivernal de *xuclada de llot*, amb quatre espècies de sedimentívors de sediments superficials i dues de sedimentívors de sediments subsuperficials que presentaven sediments de dipòsit recent en el seu òrgan digestiu durant totes les estacions mostrejades (DeMaster *et al.*, a revisió). L'excés d'activitat de  $^{234}\text{Th}$ , que té una semivida de 24 dies i s'utilitza com a traçador per

a sediments d'alt valor alimentari, es va mantenir relativament elevat en l'òrgan digestiu de molts dels sedimentívors fins i tot a l'hivern. A més, els mesuraments de  $^{14}\text{C}$  en els sediments de l'òrgan digestiu van indicar un consum de carboni orgànic làbil i relativament jove al llarg de tot l'any (DeMaster *et al.*, a revisió). Per tant, una àmplia representació de sedimentívors de la plataforma de l'OPA presenten indicis sòlids d'alimentació al llarg de tot l'any i d'ingestió de material de qualitat elevada fins i tot a l'hivern, quan es dona una producció fitoplanctònica pràcticament nul·la en la columna d'aigua. Aquestes dues línies d'indícis donen un suport ferm a la hipòtesi del *banc d'aliments*.

Com a conclusió podem dir que, malgrat el flux de POC d'impuls elevat durant els mesos d'estiu, s'acumula matèria orgànica làbil en sediments de l'OPA, que genera un banc d'aliments previsible per als abundants sedimentívors durant els períodes hivernals, de baixa productivitat. Com a conseqüència d'aquest banc d'aliments, molts processos bentònics –inclosa la respiració de les comunitats dels sediments, l'alimentació de dipòsits i fins i tot la intensitat de la bioturbació– presenten una *inèrcia* substancial que varia moderadament entre les estacions. A més, la presència d'un banc d'aliments pot haver estat un factor de selecció de cicles de vida bentònics inusuals a l'Antàrtida, com ara el desenvolupament i la lecitotrofia, que depenen de recursos alimentaris bentònics (per oposició als de la columna d'aigua).

Tenint en compte que als sediments de les ubicacions del nostre estudi FOODBANCS hi ha una comunitat microbiana metabòlicament activa (com indica l'elevada biomassa microbiana i la respiració dels sediments), per què les acumulacions de matèria orgànica làbil, com la clorofil·la-a i els EHAA, persisteixen durant tot l'any amb concentracions elevades? Segons la nostra hipòtesi, les concentracions elevades de matèria orgànica persisteixen perquè a temperatures molt baixes, típiques de la plataforma antàrtica (<1°C), les comunitats microbianes requereixen concentracions de substrat més elevades per tal de mantenir un cert nivell d'activitat heterotròfica (vegeu Mincks *et al.*, a revisió, en què es desenvolupa aquesta hipòtesi i s'aporta literatura secundària). Aquesta interacció temperatura-substrat pot permetre que la matèria orgànica làbil s'acumuli en sediments a nivells relativament elevats fins que els índexs de la respiració de la comunitat

microbiana equilibrin el flux de POC làbil que s'enfonsa cap al fons marí.

Arribem a la conclusió que a la plataforma antàrtica la resposta de l'ecosistema bentònic als impulsos del flux estival té una inèrcia substancial, en part a causa de la presència d'un banc d'aliments als sediments. En conseqüència, molts paràmetres de l'ecosistema del fons marí influïts per la disponibilitat de matèria orgànica làbil –com per exemple els índexs de respiració, els nivells de biomassa, els índexs d'alimentació de dipòsits i la bioturbació– poden ser atenuats per la variabilitat estacional (i espacial) intensa en la producció primària que es dona a la columna d'aigua antàrtica. De manera curiosa, és probable que aquests paràmetres bentònics actuïn de «filtres passabaixos», que registrin principalment tendències a llarg termini (és a dir, interanuals) en els processos de producció de la columna d'aigua, influïts, per exemple, pels canvis continus en la coberta de gel marí produïts pel clima. Creiem que molts d'aquests paràmetres de l'ecosistema bentònic, sobretot els nivells de biomassa i els inventaris de matèria orgànica làbil, poden ser uns indicadors molt útils dels canvis produïts pel clima en l'ecosistema pelàgic de la plataforma antàrtica. Aquests canvis han resultat difícils de detectar a causa de la variabilitat espacial i temporal extremadament elevada en la producció fitoplanctònica de l'oceà Antàrtic. En altres paraules, els *xucladors de llot* del fons de la plataforma antàrtica poden ajudar a entendre –i a predir– com els canvis produïts pel clima afecten els components més carismàtics dels ecosistemes antàrtics, com ara el krill, els pingüins, les foques i les balenes. I

## Referències

- Clarke, A. i Johnston, N.M. (2003). «Antarctic marine benthic diversity». *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 41, 47-114.
- DeMaster, D.J. [et al.] (2004). «Assessing benthic feeding strategies in continental margin environments using radiocarbon». *Journal of Marine Research* [A revisió].
- Galley, E. (2003). *Reproductive responses of Antarctic benthos to the seasonal flux of surface-derived phytodetritus*. Tesi doctoral. Regne Unit: Universitat de Southampton.
- Mincks, S. [et al.] (2004). «Persistence of labile organic matter and microbial biomass in Antarctic shelf sediments: Evidence of a sediment "food bank"». *Marine Ecology Progress Series* [A revisió].
- Smith, C. R. [et al.]. «Benthic-pelagic coupling on the Antarctic Shelf: Food banks, ecosystem inertia and global climate change». *Deep-Sea Research II* [A revisió].
- Thomas, C.J. [et al.] (2004). «Benthic fluxes and carbon diagenesis in the Palmer Long Term Ecological Research Area» [Manuscrit en preparació].

## Craig R. Smith

(Bay Shore, Nova York, 1954)



Craig R. Smith és professor d'oceanoografia a la Universitat de Hawaii i els seus àmbits d'interès són la biodiversitat, l'ecologia de les pertorbacions i els impactes antròpics en els ecosistemes del fons marí. Es va doctorar a l'*Scripps Institution of Oceanography* el 1983, treballant en l'àmbit de l'ecologia d'aigües profundes. Posteriorment, mitjançant una beca de postdoctorat de la *Woods Hole Oceanography Institution* va explorar els processos de colonització en comunitats intermareals. A continuació, va passar quatre anys a la Universitat de Washington estudiant ecosistemes d'aigües somes i d'aigües profundes. L'any 2005, el *Pew Institute for Ocean Science* li va concedir una beca d'investigació en l'àmbit de la conservació marina en aigües profundes, on els hàbitats fràgils i de diversitat elevada, així com els ritmes lents de recuperació, fan que l'activitat humana sigui especialment danyosa. Smith duu a terme treballs de recerca a l'Antàrtida, en manglars, en canyons submarins i en hàbitats de planes abissals per tal d'obtenir una perspectiva àmplia dels processos ecològics ecosistemes marins tant naturals com estressats antropogènics.