

LA RECERCA ANTÀRTICA I ELS VIDEOJOCS

Escrit per:

Michael Potthoff

Alfred Wegener Institut für Polar
und Meeresforschung
Alemanya



Què tenen a veure la Lara Croft o el Pac-Man amb els icebergs de l'Antàrtida? Més del que podríeu pensar! Tant la Lara com el Pac-Man només existeixen virtualment a l'ordinador (o a la consola de videojocs). Els dos han de seguir determinades regles escrites pel programador, per exemple: no poden travessar una paret, i poden interactuar amb el seu ambient. Aquesta idea ens proporciona les principals propietats d'una tècnica de modelització que ha esdevingut molt útil pels biòlegs els darrers anys: la modelització espacial explícita individual. Aquesta tècnica ens permet simular i analitzar sistemes biològics amb un ordinador.

A diferència dels models matemàtics més tradicionals (que sovint estan basats en denses fórmules matemàtiques i equacions diferencials), aquesta aproximació intenta incorporar les observacions biològiques de forma més directa mitjançant la descripció del comportament i les interaccions d'organismes individuals (1).

Els resultats i la informació obtinguda són comparables a les dades de camp i poden ser

analitzades pels mateixos mètodes. En primer lloc, com es fa quan s'estudia un ecosistema al món real, l'espai es divideix en petites unitats (quadres). Aquestes unitats tenen habitualment un format de graella; per això aquests models també s'anomenen models de graella. Si descrivim un conjunt d'organismes sèssils, com arbres o espècies marines sedentàries, un o més individus poden viure en una d'aquestes unitats. En segon lloc, a partir de les observacions de camp podem conèixer alguns trets biològico-temporals com l'esperança de vida, la fecunditat i la dispersió dels propàguls. Amb aquestes dades, podem crear aleshores un programa informàtic on cada individu tingui unes característiques pròpies, i es comporti segons unes probabilitats estretes de les dades experimentals. Per exemple, cada individu tindrà una edat 'x' i en funció d'aquesta, tindrà una probabilitat de morir; tindrà també, una probabilitat 'y' de produir un nombre determinat de

descendència que es dispersarà per l'ambient d'acord amb les dades conegudes de l'espècie. Si la descendència arriba a una subunitat amb espai lliure, s'hi podrà establir. Aquest cicle es repetirà fins que finalitzem la simulació. A cada pas en el temps podrem observar i analitzar els patrons que apareixen.

Aquests models o simulacions informàtiques es poden fer servir en molts aspectes. Podem identificar interaccions importants o predir el comportament de zones protegides davant de diferents situacions. També es poden provar escenaris que en realitat no existeixen o realitzar experiments que són massa perillosos al món real. Per exemple –i tornant als icebergs– podem descobrir quin és l'impacte que els icebergs tenen sobre la biodiversitat de l'ecosistema antàrtic.

Els icebergs de l'Antàrtida poden ser enormes. Poden tenir una superfície de 100 km² i una profunditat de 500 m (2). Aquests icebergs sovint xoquen amb el fons del mar, esdeveniment que resulta catastròfic pels animals que hi viuen; però potser és essencial pel manteniment d'una gran biodiversitat a l'Antàrtida (3). El treball científic en aquest racó del planeta representa un gran desafiament pels científics. Les condicions ambientals són duríssimes, el treball és perillós i molt car. No hi podem anar i simplement prendre algunes mostres; les expedicions científiques sovint es planegen amb anys d'antelació.

El nostre coneixement sobre les espècies de l'antàrtic és encara molt limitat. Sabem que algunes creixen molt lentament i que es poden fer extraordinàriament velles (4). La recolonització d'una zona arrasada per un iceberg pot trigar centenars d'anys. Què dirigeix aquesta recolonització? Quin és el factor més important? Una esperança de vida llarga? Molta descendència? Que els passarà a les comunitats bentòniques, la vida dels fons oceànics, quan hi hagi un canvi climàtic i hi hagi més (o menys) icebergs que en l'actualitat?

Per respondre algunes preguntes i obtenir noves idees sobre com funciona l'ecosistema, vam crear SIMBAA (SIMulation Model of Benthic Antarctic Assemblages), un model de simulació de les interaccions bentòniques de l'Antàrtida.

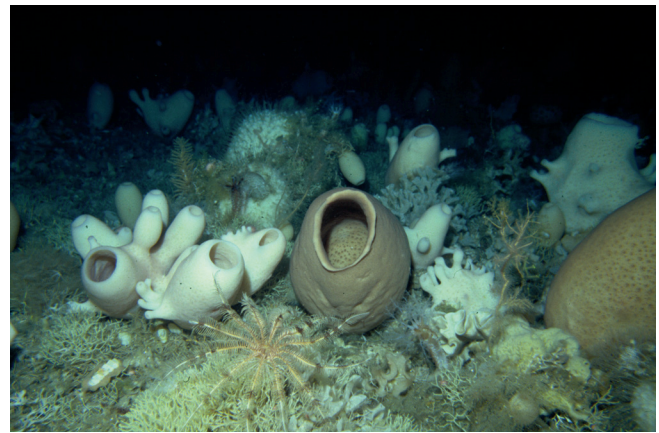
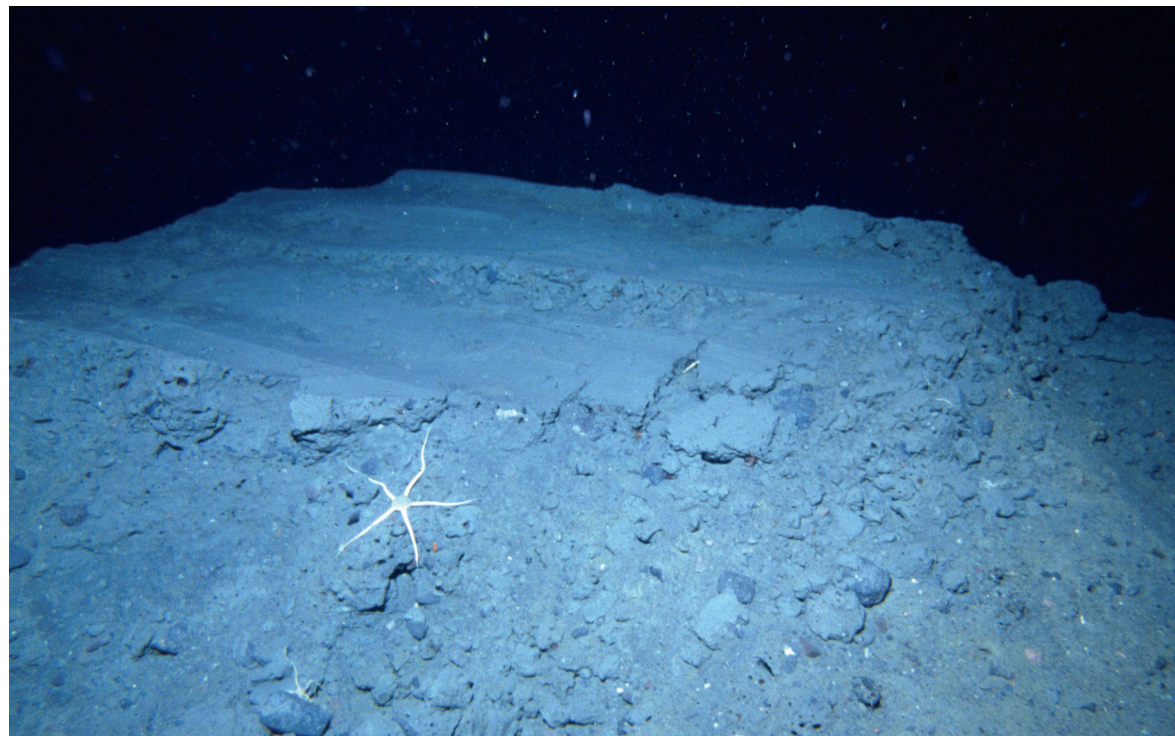


Figura 1. Sòl marí no perturbat amb una comunitat formada per moltes espècies: sponges, briozous, holotúries, crinoids i més. © J. Gutt

SIMBAA funciona en entorn Windows i està escrit en llenguatge Borland Delphi. Les simulacions que realitzem ara per ara fan servir uns 250.000 individus d'unes 30 espècies diferents. Hi ha dues versions, una que permet obtenir gràfics i una altra, el nucli del programa, que simplement computa la simulació i guarda els resultats en arxius. SIMBAA també ofereix la possibilitat de generar representacions de la simulació en 2 o 3 dimensions.

Figura 2. Àrea recentment pertorbada. Només formes mòbils, com les ofiures, han cobert el sediment despullat. © J. Gutt



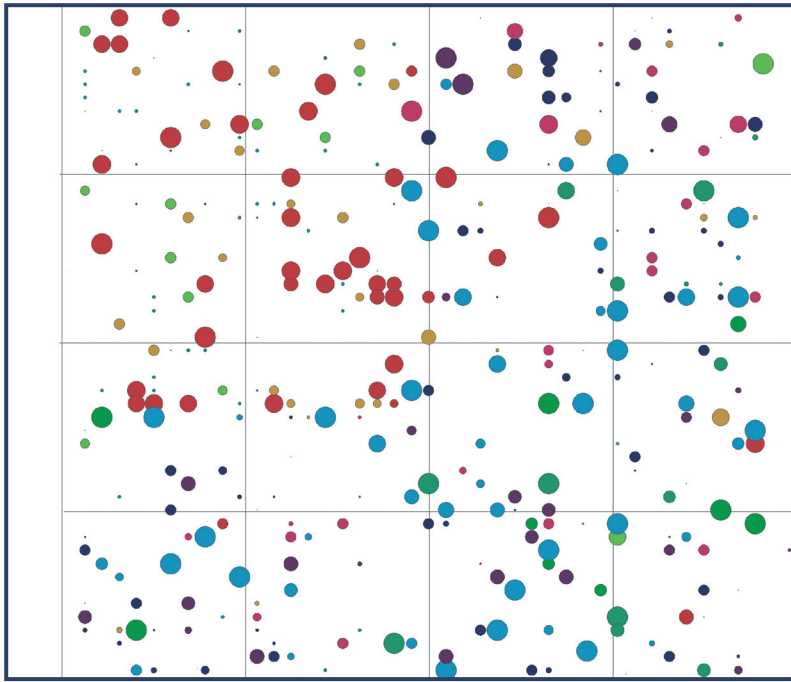


Figure 4. Visió en 3D generada pel SIMBAA. El petit Rover virtual es fa servir per investigar el sòl marí simulat i poder comparar així la simulació amb les dades de camp reals. © M. Potthoff

Aleshores no hi havia models informàtics similars i, per construir la nostra simulació, primer ens vam interessar en models existents per a sistemes terrestres. Aviat vam arribar a la conclusió que els models existents no eren adequats pel nostre propòsit. Aquests models no estan creats amb els requeriments especials que la simulació de la vida marina que teníem en ment necessitava. Agafant la simulació de l'ecosistema forestal, per exemple, sovint s'assumeix que les llavors cauen més o menys directament sota l'arbre. La majoria dels invertebrats marins sèssils es dispersen durant la fase larvària nedadora. Les larves són alliberades a l'aigua i aleshores neden lluny dels progenitors. Per tant, havíem d'escriure un programa per simular les pautes de dispersió. Els esdeveniments pertorbadors a la nostra simulació també són diferents dels que succeeixen al bosc, com els focs o les caigudes dels arbres. Les probabilitats d'un foc o d'una caiguda d'un arbre depenen del temps que ha passat des de l'últim esdeveniment (si un bosc acaba de cremar, no queda fusta per cremar-se de nou immediatament). La pertorbació produïda pel xoc d'un iceberg amb el fons marí no depèn de la darrera vegada en què això va succeir. Un dia després

que es produeixi, un altre iceberg pot tornar a arrasar el mateix lloc. Fruit de les darreres investigacions, sabem que cada metre quadrat del llit marí antàrtic és pertorbat cada 300-350 anys. Algunes profunditats amb més freqüència que d'altres (5). També vam consultar la literatura científica per conèixer els paràmetres biològic-temporals d'espècies característiques. Atès que hi deuen haver unes 10.000 espècies diferents a l'Antàrtida (6) vam haver de cercar els paràmetres característics de les espècies pioneres, successores i clímax (7). Vam assumir que la major part de les espècies antàrtiques considerades com a colonitzadores tardanes o clímax arreceaven les seves larves: aquestes larves o individus joves es dispersen molt poc, ocupant el territori proper als seus progenitors. Les espècies pioneres, en canvi, tenen una esperança de vida més curta i dispersen les seves larves per llargues distàncies. Per exemple, les esponges de la classe Hexactinellida, s'assumeix que poden arribar a viure més de 500 anys (8) i són indicadors d'una zona no pertorbada. Sovint podem trobar *Rossella racovitzae* joves unides als seus pares com si fossin branques, que aquests reclutaran a prop seu quan caiguin. Per

altra banda, *Stylocoryla borealis*, l'esponja 'xupa-xup', és una pionera tardana amb una vida «curta» d'uns 15-20 anys; és, doncs, un indicador d'àrees recentment pertorbades.

Assignant aquests valors als paràmetres a la nostra simulació vam ser capaços de generar pautes de successió com les que s'observen en les zones arrasades pels icebergs. Sorprenentment, això va ser possible fins i tot sense la necessitat d'introduir interaccions especials entre les espècies. Els experiments on es deixen dues espècies competir, normalment mostren que una espècie és més forta que l'altra i desplaça al competidor més feble. A la nostra simulació hi ha algun tipus de competició, però no és com aquest desplaçament jeràrquic. En comptes d'això, les larves competeixen per l'espai com si es tractés d'una loteria. Si hi ha espai lliure en una subunitat, totes les larves juguen a una loteria on una d'elles guanyarà l'espai buit a l'atzar. Com pot ser que aquest mecanisme tan simple generi quelcom tan complex com el patró de successió i recolonització? Els elements clau per entendre aquest resultat són el nombre de larves i la seva dispersió. Les espècies pioneres es poden dispersar al llarg de grans distàncies i en grans nombres. Assumim que hi ha hagut un iceberg que ha arrasat un espai i l'ha deixat lliure. Des d'arreu arriben larves pioneres que es dispersen per aquesta àrea. Les espècies tardanes i clímax tenen menor nombre de larves i aquestes es dispersen molt poc. Per tant, algunes d'aquestes larves es dispersaran per l'espai disponible a prop de les àrees no pertorbades però no més enllà. En la loteria ara juguen un gran nombre de larves pioneres i unes poques d'altres espècies per optar al premi de l'espai lliure. Encara que totes les larves tenen la mateixa probabilitat, les larves pioneres solen guanyar l'espai perquè en són més i arriben més lluny. Però les espècies pioneres tenen una vida curta i es moren aviat, deixant lliure el seu espai de nou. De manera que la competició torna a començar. Potser, el lloc d'on es van originar les primeres larves ha patit successió, de manera que hi ha menys larves pioneres que arriben ara a aquesta

zona vacant per defunció com ho feien abans. Així que la seva probabilitat de colonitzar el nou espai buit decreix. Sigui com sigui, quan l'espai és ocupat a l'atzar per una espècie no pionera, haurà de passar molt de temps abans no es mori i torni a deixar lliure l'espai perquè es sortegi de nou. Així doncs, a mesura que passa el temps, més i més espai és ocupat per les espècies no pioneres i s'observa, doncs, la successió.

Això és només una petita part del nostre treball i hauria de servir com a exemple dels casos en què la simulació informàtica és aplicable i funciona. Encara que a primer cop d'ull pot semblar un videojoc, esperem que aquesta eina ens permeti obtenir noves dades sobre l'ecosistema antàrtic. Actualment estem expandint els nostres models i analitzant els resultats de diferents règims pertorbadors, com el fet que hi hagi més o menys icebergs, per veure quin impacte ecològic podrien tenir sobre l'ecosistema antàrtic.



Michael Potthoff realitza la seva tesi doctoral a l'AWI, al Departament d'Ecosistemes Bentònics. Durant l'expedició, volava sovint amb els helicòpters, per tal d'identificar icebergs i prendre'n mesures. Com heu llegit al seu article, treballa creant un model matemàtic per ajudar a explicar el fenomen de successió al bentos després de l'arrasament per part d'icebergs.

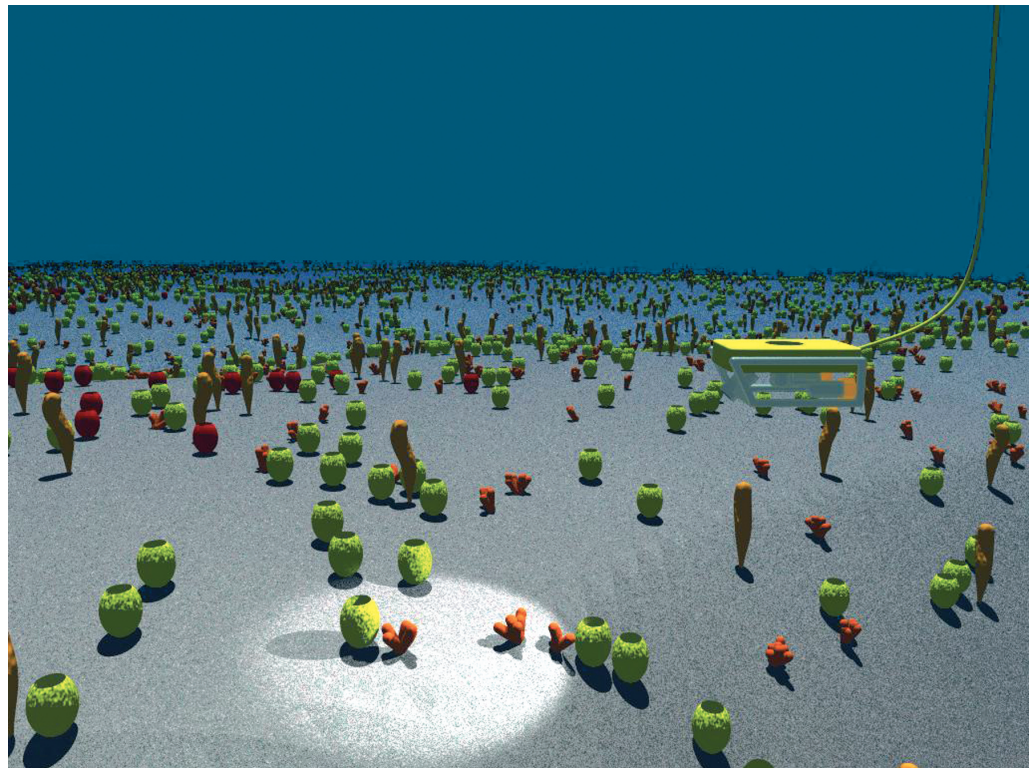


Figura 3. Resultat en 2D d'un processament pel SIMBAA. Les espècies diferents són representades per colors diferents; l'àrea dels cercles representa l'edat dels individus. A la cantonada superior-esquerra podem observar una recolonització per espècies pioneres (vermell i taronja) mentre que la resta de l'àrea mostra una comunitat madura. © M. Potthoff

Referències:

1. Grimm, V. Mathematical models and understanding in ecology. *Ecol.Modell.* **75/76**, 641-651 (1994).
2. Lien, R., Solheim, A., Elverhoi, A. & Rokoengen, K. Iceberg scouring and sea bed morphology on the eastern Weddell Sea shelf, Antarctica. *Polar Research* **7**, 43-56 (1989).
3. Gutt, J. On the direct impact of ice on marine benthic communities, a review. *Polar Biology* **24**, 553-564 (2001).
4. Arntz, W. E., Brey, T. & Gallardo, V. A. Antarctic Zoobenthos. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* **32**, 241-304 (1994).
5. Gutt, J. & Starmans, A. Quantification of iceberg impact and benthic recolonisation patterns in the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biology* **24**, 615-619 (2001).
6. Gutt, J., Sirenko, B. I., Smirnov, I. S. & Arntz, W. E. How many macrobenthic species might inhabit the Antarctic shelf? *Antarctic Science* **16**, 11-16 (2004).
7. Teixido, N., Garrabou, J., Gutt, J. & Arntz, W. E. Recovery in Antarctic benthos after iceberg disturbance: trends in benthic composition, abundance, and growth forms. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* **in press**.
8. Dayton, P. K. in *Biologie des Spongiaries* (eds. Levi, C. & Boury-Esnault, N.) 271-282 (C.N.R.S., 1979).