

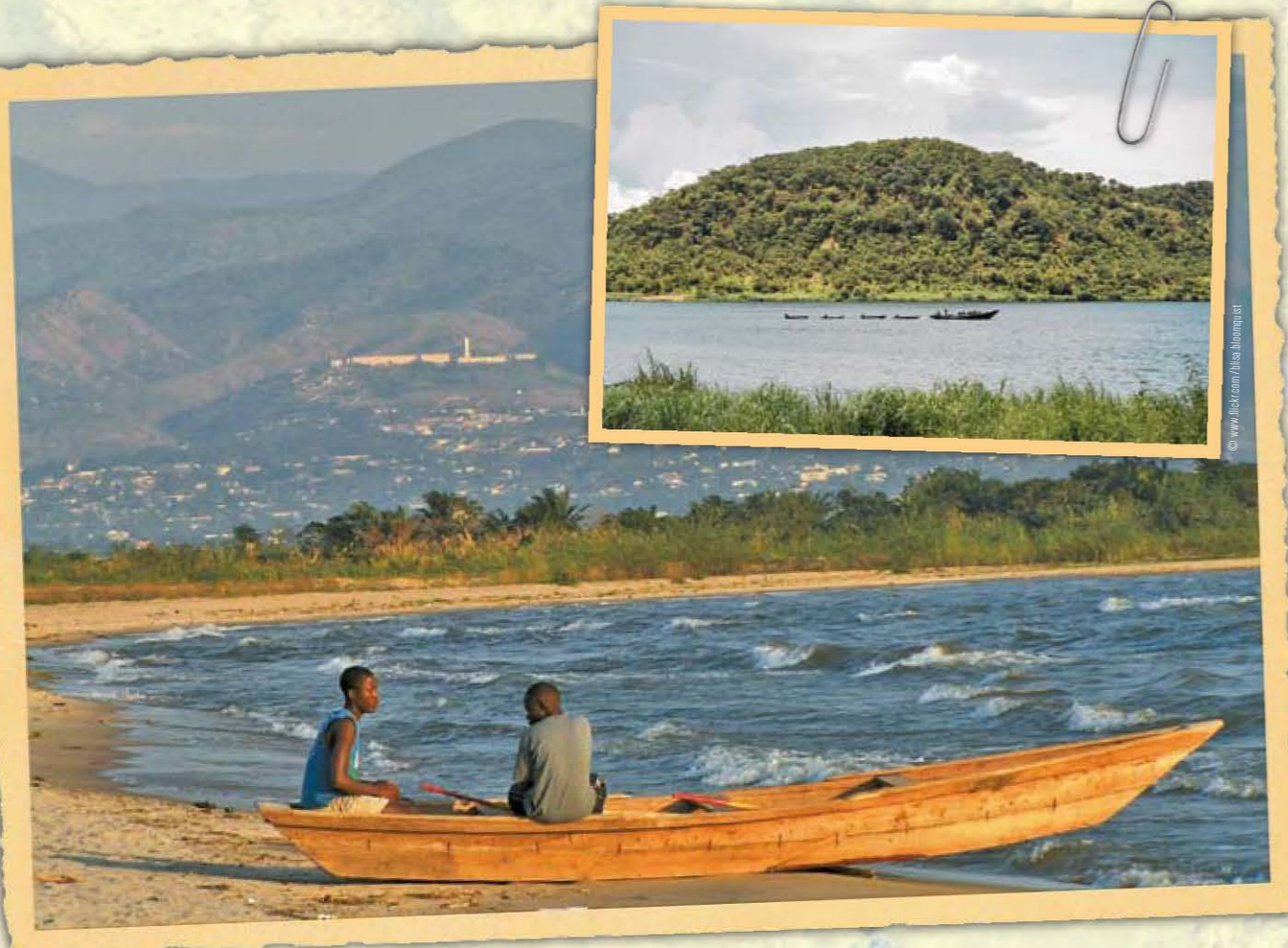
El llac Tanganika

Des de la seva formació fins als últims descobriments limnològics

Escrit per

Samuel Pirlot i Jean-Pierre Descy

Laboratori d'Ecologia d'Aigües Dolces de la Unitat de Recerca en Biologia dels Organismes (URBO) de les Facultats Universitàries Notre-Dame de la Paix Namur (FUNDP)



Pocs espais naturals com els grans llacs de l'Àfrica de l'est susciten tant d'interès, fins i tot fascinació, a tots aquells que s'hi apropen. Són coneguts per la seva estranya biodiversitat, sobretot pel gran nombre d'espècies de peixos endèmics que s'hi allotgen.

El llac Tanganika concretament, també anomenat *Africa's aquatic gem* ha atret i segueix atraient científics de tot el món, tant geòlegs, com geoquímics, físics o biòlegs. Aquest gran interès s'origina per diferents motius, però el més evident és la seva impressionant extensió i la seva localització a la vall del Rift africà que fa d'ell un dels llacs més profunds del món.

La gènesi del llac Tanganika

La vall del Rift africà va començar a formar-se fa entre 13 i 20 milions d'anys sobre el sòcol continental africà: després d'una activitat tectònica i volcànica intensa, la placa tectònica somali es va desprendre de la placa nubiana.

Des del mar Roig fins al Kalahari, a Namíbia, es va generar tot un seguit de grabens d'enfonçament d'una amplada d'entre 40 i 60 km. Del moviment massiu i continu de l'escorça terrestre (fins a 10 mm/any), en va néixer una enorme falla d'uns 6.400 km de llargada que va donar lloc a la vall del Rift africà (Fig. 1).

El costat occidental del Rift allotja extensos llacs d'aigua dolça profundament endinsats a la muntanya; un d'ells és el llac Tanganika. La majoria de riberes del llac vénen a ser les vores de la mateixa fossa tectònica. Formen escarpaments rocosos força rígids i elevats, a vegades fins a més de 1.000 m d'altitud. Les riberes estan majoritàriament constituïdes per roques (43%) i, en menys mesura, per sorra (31%).



Figura 1.

La vall del Rift africà amb les direccions d'extensió.

1. Direccions d'extensió estimades segons l'anàlisi del terreny.
2. Direccions d'extensió estimades segons la sismicitat (figura redibuixada segons Coulter, 1991).

El gran vessament

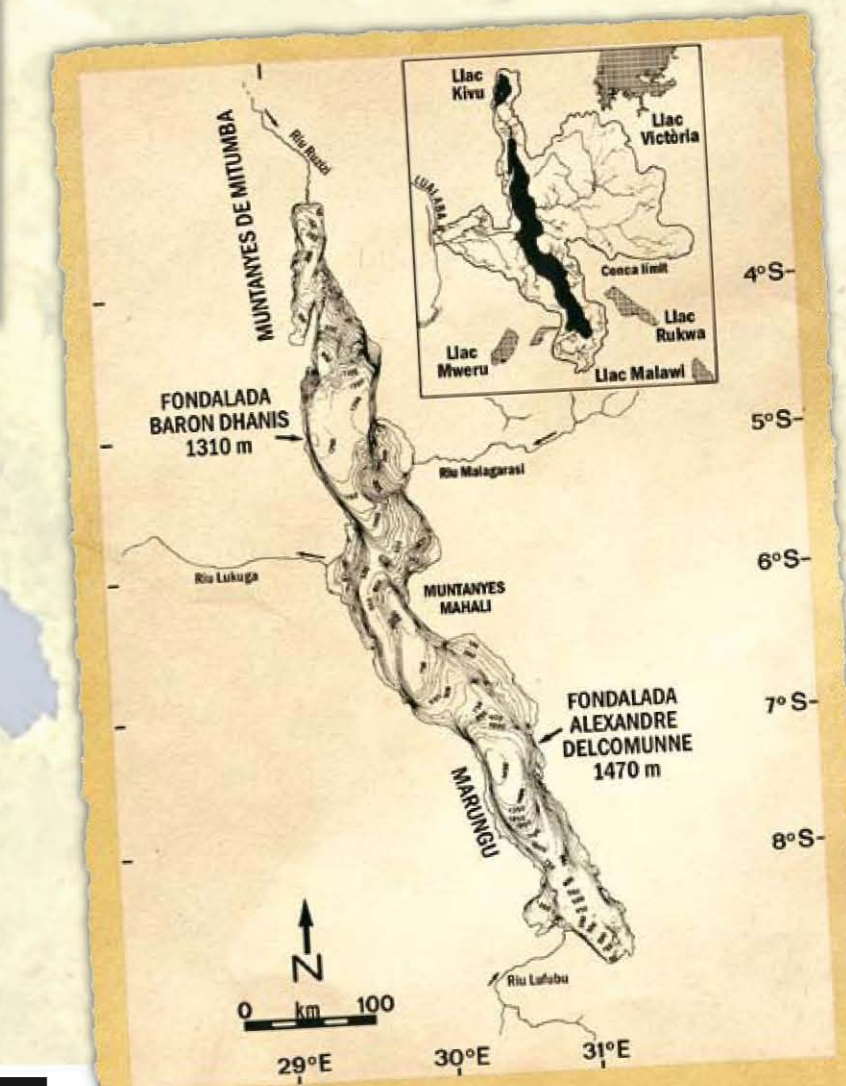
Tot i que la formació del llac és antiga, el llac Tanganika, tal i com el coneixem avui dia (Fig. 2) és la conseqüència d'un dels enfonsaments més recents que ha patit l'Àfrica oriental. És probable que, fins no fa relativament gaire (d'1 a 2 milions d'anys), no hi hagués un sol llac sinó dos paleollacs separats per una barrera rocosa situada a l'emplaçament de l'estret que apropa les dues ribes al centre del llac, als peus del Mont Mahale i al nord del Lukuga. En aquella època,

el paleollac meridional, amb un pla d'aigua més elevat que el del paleollac septentrional, vessava només per aquest riu. El trencament de la barrera entre els dos paleollacs va provocar el descens del nivell global de les aigües que va interrompre el funcionament de l'exutori. Se suposa que durant el pleistocè mitjà hi va haver un breu vessament cap al nord, però tot i així no podem confirmar que tingués lloc cap contacte amb el Nil. Durant el pleistocè superior (< 1 milió d'anys) es va crear el llac Kivu mitjançant l'alçament de la regió dels Virunga que hauria interromput el vessament cap al nord. Aquest moviment tectònic és, en part, igualment responsable de la formació del llac Victòria (de -750.000 a -500.000 anys). Només fa entre 10.000 i 20.000 anys que el llac Kivu ha començat a desbordar-se i a vessar cap al llac Tanganika a través del riu Ruzizi.

El vessament de les aigües del llac Tanganika cap al Congo sembla haver-se reprès fins no fa gaire: quan Stanley va descobrir el riu Lukuga, l'any 1876, encara existia una barrera al·luvial oposant-se al pas de l'aigua. El 1878, aquest obstacle es va trencar i va provocar que el nivell del llac disminuís progressivament una desena de metres fins al 1894.

Figura 2.

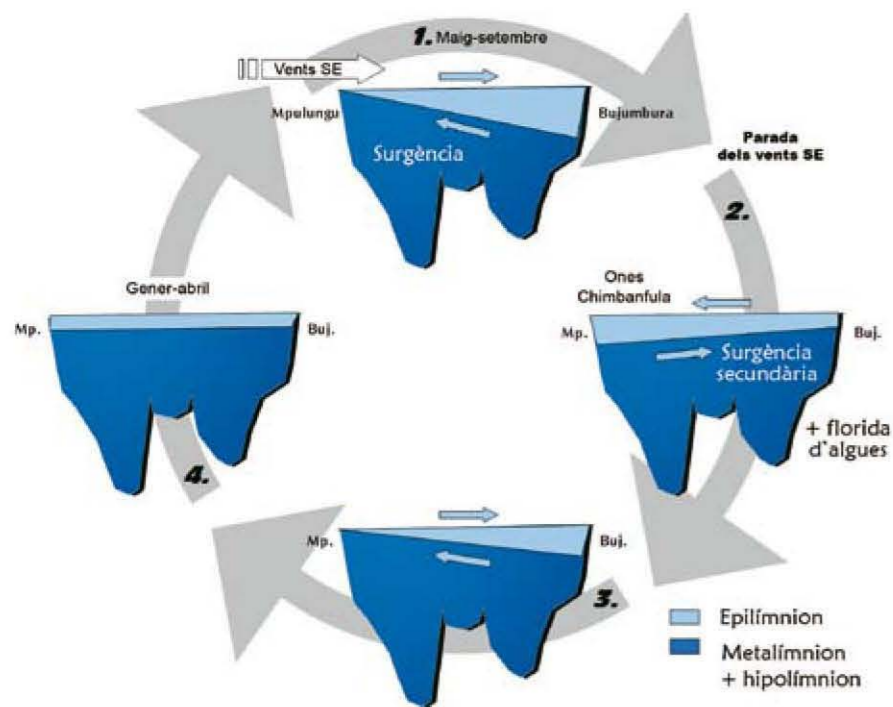
Batimetria i conca vessant del llac Tanganika (Coulter, 1991).



El llac Tanganika, avui dia

El llac té una longitud màxima de 677 km i una llargada mitjana de 50 km. Té una profunditat màxima de 1.470 m a la conca sud. La seva altitud es situa al voltant dels 773 m per sobre del nivell del mar. La seva superfície total és de 32.900 km². A l'oest, la República Democràtica del Congo compta amb 14.800 km² d'aigües territorials; a l'est, Tanzània amb 13.500 km²; al sud, Zàmbia amb 2.000 km², i finalment, al nord, Burundi que compta amb 2.600 km². Segons els mapes batimètrics (Fig. 2), podem dividir el llac en quatre conques, dues de les quals, les principals, estan al nord i al sud (Evert, 1970). Els afluents més importants són el riu de Ruzizi que és l'emissor del llac Kivu, i el Malagarasi, situat a Tanzània i que drena les aigües de la majoria de la conca vessant (la conca vessant cobreix un total de 250.000 km²). L'únic exutori del llac Tanganika és el riu Lukuga, que uneix les aigües del llac amb la conca del riu Congo, que acaba desembocant a l'Atlàntic. Els rius aporten al llac una quantitat d'aigua impressionant (24 km³/any), però això només representa el 37% de la seva alimentació anual, ja que les pluges en constitueixen la major part. El nivell del llac pot variar segons l'equilibri precipitacions/evaporació: per això, el 1964, molts ports es van inundar després d'una forta pluviositat.

Figura 3. Perfils esquemàtics de l'oscil·lació de la termoclina al llarg d'un any (segons Plisnier *et al.*, 1999).



La teoria de l'origen de les espècies marines a nivell local

Una gran quantitat d'espècies del llac Tanganika presenten afinitats xocants amb d'altres espècies marines. Es pot citar la presència d'una medusa endèmica (*Limnocnida tanganyicae Gunther*) o l'existència de nombroses espècies de gasteròpodes (de fet, cargols aquàtics) pràcticament indistingibles d'espècies marines. Existeixen força teories que explicarien aquests fets inquietants: segons Moore (*The Tanganika Problem*, 1902), durant el juràssic, el mar hauria pogut ocupar la conca del riu Congo i estendre's fins al llac Tanganika. Brooks (1950) va suggerir que haurien pogut tenir lloc incursions marines a l'altiplà sud-est del llac Tanganika durant el cretaci. Aquestes incursions marines haurien pogut contaminar les aigües interiors de la regió i, per tant, influenciar indirectament en la diversitat de les espècies pioneres que van colonitzar el llac Tanganika en el moment de la seva formació. Aquestes teories s'han deixat córrer i ara les afinitats amb les espècies marines s'expliquen mitjançant la migració d'espècies d'origen marí dins del terreny hidrogràfic o fins i tot mitjançant mecanismes complexos que han provocat, com en molts espais marins, l'aparició de nombroses espècies. L'origen de les espècies del llac Tanganika és, en tot cas, molt més antic que el de la resta de llacs de la regió. De fet, un llarg període de sequera al mig del pleistocè va fer disminuir el nivell de la majoria de llacs de la regió, fins al punt de portar-los a la sequera total, provocant gairebé la desaparició de la fauna primitiva. Aquests llacs han estat repoblats per una fauna procedent de la conca del Nil. Només el llac Tanganika, gràcies a la seva profunditat, no va perdre totalment la seva antiga fauna.

Els descobriments limnològics

Científics i exploradors occidentals s'han trobat a Àfrica de l'est des de principis del segle xx. Els noms dels més cèlebres ressonen avui dia a la memòria col·lectiva pel fet d'haver-hi buscat les misterioses fonts del Nil (Burton, Livingstone...); ara és el torn dels limnòlegs que s'han interessat ràpidament pel funcionament i la riquesa dels ecosistemes del llac Tanganika.

Les primeres missions científiques van realitzar essencialment les descripcions de les espècies i dels habitats (p. ex. Moore, 1902; Cunnington, 1920). Va caldre esperar gairebé vint anys i la participació del pioner Beauchamp (1939) per la comprensió dels processos limnològics. Beauchamp va recalcar, entre d'altres coses, els in-

tercanvis, molt lents, que hi ha entre les aigües de la superfície i les aigües profundes riques en nutrients. El 1946-1947, va tenir lloc una expedició belga de gran envergadura. Aquesta expedició va permetre notòriament posar en evidència una important activitat de migració diürna del zooplàncton i dels peixos del llac Tanganika. Van Meel (1954) va ser un dels primers a suggerir que les temperatures tropicals permeten una degradació ràpida de la matèria orgànica gràcies als bacteris heteròtrofs, i que aquests constitueixen una important font d'alimentació per al plàncton animal (zooplàncton). Aquesta teoria va ser introduïda per intentar explicar com un llac tan poc productor de plàncton vegetal (fitoplàncton) podia suportar la forta producció de peixos. Altres investigadors, com Coulter (1991), van defensar més aviat la hipòtesi d'una heterogeneïtat espacial i/o temporal de la producció primària i, particularment, el paper de les remuntades d'aigües profundes riques en nutrients (*upwellings*) durant l'estació seca que van provocar pics de producció elevats, però localitzats (essencialment al sud del llac). El 1999, Plisnier *et al.* van descriure detalladament aquests fenòmens, relacionats amb els vents alisis, l'oscil·lació nord/sud de la termoclina (Fig. 3) i la formació d'onades internes i la seva implicació en la producció de plàncton.

Alguns estudis s'han interessat profundament pel plàncton del llac Tanganika i per les biomasses i produccions dels diferents nivells tròfics (p. ex. Hecky *et al.*, 1978; Hecky & Fee, 1981). D'aquí en surt una visió de la cadena alimentària del llac molt diferent de la que trobem en d'altres llacs tropicals (Fig. 4).

Per explicar el funcionament d'un ecosistema com aquest, amb una estructura en forma de piràmide ecològica invertida, aquests autors van proposar força hipòtesis basades en nombrosos mesuraments efectuats al llarg de creuers sobre el llac: taxes de creixement del fitoplàncton més ràpid, una elevada eficàcia de les transferències entre nivells tròfics i, finalment, la hipòtesi que una forta producció bacteriana contribueix a la producció dels organismes consumidors. La visió que en resulta és la d'un ecosistema amb un funcionament molt proper al del medi marí, on la xarxa tròfica microbiana té un paper molt important. Això va lligat evidentment a la hipòtesi de Van Meel formulada dues dècades abans. Tot i que estudis posteriors han posat en dubte l'estructura tròfica en forma de piràmide invertida (Sarvala *et al.*, 1999), no han examinat veritablement el paper que juga la xarxa tròfica

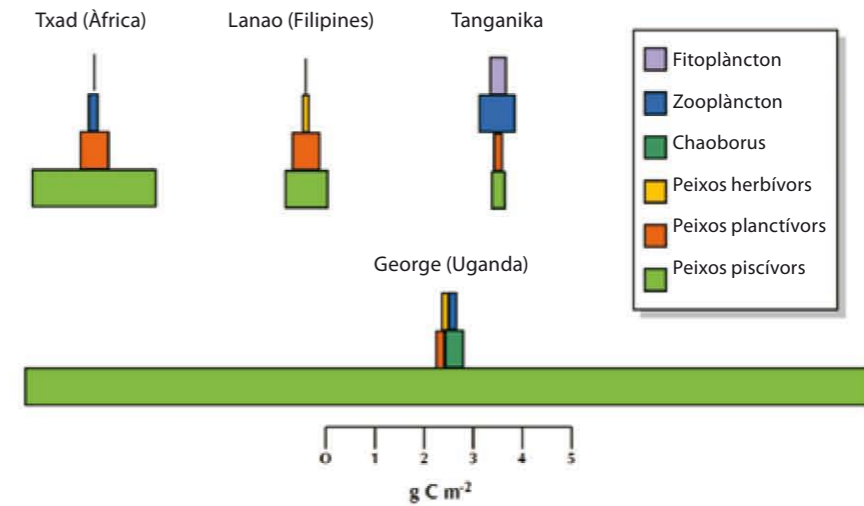


Figura 4. Estructura tròfica d'alguns llacs tropicals (segons Hecky, 1984).

microbiana. Aquest ha estat recentment el punt de mira d'intensos estudis (Piriot, 2006), parcialment en col·laboració amb l'ICM, CSIC, de Barcelona. Els resultats confirmen que el plàncton del llac Tanganika es compon, en gran part, per picoplàncton (plàncton d'una talla < 2 µm), incloent-hi cianobacteris fotosintètics i bacteris heteròtrofs, en concentració molt elevada. Aquest plàncton tan petit és consumit per protozous flagel·lats i ciliats que passaran a ser l'aliment del zooplàncton més gran (Fig. 5).

El llac Tanganika afectat per la variabilitat climàtica

Generalment, a l'hemisferi sud es distingeixen dues grans estacions al llarg d'un any. Una estació de pluges o estació humida té lloc entre els mesos de setembre/octubre fins a l'abril/maig, mentre que l'estació seca ocupa la resta de l'any. Aquestes dues estacions corresponen a diferents estats hidrodinàmics del llac Tanganika (cf. Fig. 3). El règim de vents que bufen sobre el llac Tanganika té com a origen un fenomen meteorològic d'amplitud mundial: l'oscil·lació de la zona de convergència intertropical (ZCIT). Aquesta zona, que segueix la posició de l'equador tèrmic, està generalment situada a la latitud de l'aire més calent. Així doncs, com que l'hemisferi nord representa una superfície continental més gran que l'hemisferi sud, aquesta zona està, de mitjana, localitzada al nord de l'equador geogràfic. A l'estiu, es desplaça encara més cap al nord, molt més lluny, per sobre dels continents europeu i asiàtic sobreescalfats i, per tant, es situa entre 5 i 30° N. A l'hivern, es desplaça cap a l'hemisferi sud on aconsegueix latituds lleugerament infe-

Vorticel·les enganxades a una colònia de diatomees.





Lates mariae, espècie endèmica del llac Tanganika.

riors. Aquesta oscil·lació nord/sud de la zona de convergència intertropical de l'aire induïx els vents observats per Beauchamp (1939) cap al llac Tanganika. Durant els anys ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), on el fenomen El Niño es va manifestar sobretot al Pacífic sud, també sembla que el llac Tanganika hagués pogut ser afectat per aquest fenomen meteorològic

mundial. A l'Àfrica de l'est es traduiria en unes precipitacions més fortes, una temperatura de l'aire (i, per tant, de la superfície de les aigües) més elevada i, finalment, una disminució dels alisis del sud-est. D'aquí en surt una estratificació de la columna més gran i una reducció de la barreja vertical de la massa d'aigua, cosa que comporta una reducció de l'aportació de nutrients cap a la superfície del llac (on es produeix la part essencial de la producció primària) i una productivitat més feble (Nixon, 1988).

Des dels anys 70, al llac Tanganika, la temperatura de l'aire ha augmentat de 0,5°C a 0,7°C i el vent ha disminuït un 30%. La temperatura mitjana anual de la capa superior de l'aigua del llac ha augmentat 0,1 ± 0,01°C per dècada des de 1913, mentre que a la profunditat (600 m), entre el 1939 i el 2003, es va registrar un augment de 0,31°C (O'Reilly *et al.*, 2003). Al llarg dels propers 80 anys, es preveu un augment de la temperatura mitjana de l'aire a la regió dels Grans Llacs d'Àfrica de l'est d'entre 1,3°C i 1,7°C (Hulme *et al.*, 2001). Alguns diuen que

l'impacte del canvi climàtic sobre la productivitat del llac Tanganika ja és visible segons les dades de les últimes dècades. Aquestes conclusions es basen en estudis sobre els isòtops estables del carboni dels sediments (O'Reilly *et al.*, 2003), en comparacions de dades limnològiques i planctonològiques (Verburg *et al.*, 2003), i també en l'estudi de les estadístiques de pesca i de la seva relació amb les dades climàtiques i limnològiques (Plisnier, 2004). Tanmateix, el problema és complex, pel fet que la variabilitat climàtica es manifesta en diverses escales de temps, des d'una forta variació del nivell del fitoplàncton interanual (Descy *et al.*, 2005), fins a una variabilitat de les precipitacions en dècades o segles (Cohen *et al.*, 2006). D'altra banda, en l'àmbit del rendiment de la pesca, pot arribar a ser complicat triar entre una explotació elevada dels estocs i una reducció de la productivitat d'origen climàtic.

La implicació dels equips locals

Si el llac Tanganika i els altres grans llacs de la mateixa regió estan afectats per la variabilitat climàtica i amenaçats per una sobreexplotació dels seus recursos, serà necessària la implicació directe de les autoritats i dels científics dels països veïns per tal de gestionar-ne l'ecosistema. Això ja s'ha fet recentment en diversos projectes internacionals, com els projectes FAO-FIN-NIDA LTR (Sarvala *et al.*, 1999) o CLIMLAKE (Plisnier & Descy, 2005), però sovint es limiten a utilitzar com a mà d'obra investigadors i tècnics locals, mancats d'una formació adequada.

De fet, sovint hi ha un problema de falta de recursos i de formació per part dels investigadors locals, cosa que ha provocat la presa de diferents iniciatives a través de projectes de desenvolupament, entre d'altres. Els finançaments d'aquests projectes no són fàcils d'obtenir: efectivament, se n'esperen conseqüències per a la població local, poc directament perceptibles en els projectes centrats essencialment en la recerca científica. D'entre les iniciatives orientades cap a la formació per a la recerca en limnologia tropical, podem destacar el projecte Nyanza, que consisteix en un programa de formació de 6 setmanes organitzat cada any per a alumnes africans i americans a Kigoma (Tanzània), a la vora del llac Tanganika. El projecte està dirigit pel Departament de Geociències de la Universitat d'Arizona, sota la responsabilitat del professor A. Cohen, i finançat per la National Science Foundation (USA) i pel Lake Tanganika Biodiversity Project (LTBP), dins del context del projecte IDEAL (*International Decade of East African Lakes*). Tot i que força alumnes han començat a involucrar-se en diferents aspectes de la limnologia tropical mitjançant el projecte Nyanza, només alguns, que han pogut beneficiar-se de mitjans i ajudes financeres, han pogut continuar els seus estudis fins a realitzar una tesi de màster o de doctorat. Segueixen sent necessaris d'altres esforços de cooperació científica i tècnica, però l'esperança ha permès veure néixer una generació d'investigadors africans capaços de responsabilitzar-se de l'estudi i la gestió dels recursos naturals destacables. I

Referències

Beauchamp, R. S. A. (1939). «Hydrology of Lake Tanganyika». *Internationale Revue der gesamte Hydrobiologie und Hydrographie*, 39(3-4): 316-353.

Brooks, J. L. (1950). «Speciation in ancient lakes». *Quarterly Review of Biology*, Baltimore, 25(2): 30-36, 131-176.

Cohen, A. S. [et al.] (2006). «Late Holocene linkages between decade-century scale climate variability and productivity at Lake Tanganyika». *Africa. Journal of Paleolimnology*, 36(2): 189-209.

Coulter, G. W., ed. (1991). *Lake Tanganyika and its Life*. Londres: Oxford University Press. 5: 103-108, 9: 239-245.

Descy, J. P. [et al.] (2005). «Phytoplankton pigments and community composition in Lake Tanganyika». *Freshwater Biology*, 50: 668-684

Hecky, R. E. (1978). «The Kivu-Tanganyika basin: The last 14,000 years». *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 25: 159-165.

Hecky, R. E. (1984). «African lakes and their trophic efficiencies: a temporal perspective». A: Meyers, D. G. i Strickler, J. R., eds. *Trophic interactions within aquatic ecosystems. A.A.A.S. Symposium 85*. Washington D. C.: Westview press. 405-448.

Moore, J. E. S. (1902). *The Tanganyika problem: an account of the researches undertaken concerning the existence of marine animals in central Africa*. Londres: Hurst and Blackett. 371 p. Ressenya a *Geogr. J.*, 21: 682, 688.

O'Reilly, C. M. [et al.] (2003). «Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa». *Nature*, 424: 766-768.

Pirlot, S. (2006). *Le bactérioplancton du Lac Tanganyika: biomasse, production et devenir trophique*. Tesi doctoral, FUNDP, Namur, Bèlgica, 267 p.

Plisnier, P. D. [et al.] (1999). «Limnological annual cycle inferred from physical-chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika». *Hydrobiologia*, 407: 45-58.

Plisnier, P. D. i Descy, J. P. (2005). *CLIMLAKE: Climate variability as recorded in Lake Tanganyika - Final Report (2001-2005)*. Brussel·les, Bèlgica: Belgian Science Policy.

Sarvala, J. [et al.] (1999). «Trophic structure of Lake Tanganyika: carbon flows in the pelagic food web». *Hydrobiologia*, 407: 140-173.

Van Meel, L. (1954). *Le phytoplankton. Exploration hydrobiologique du Lac Tanganyika (1946-1947)*. Brussel·les, Bèlgica: Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique.

Verburg, P.; Hecky, R. E.; Kling, H. (2003). «Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika». *Science*, 301: 505-507.

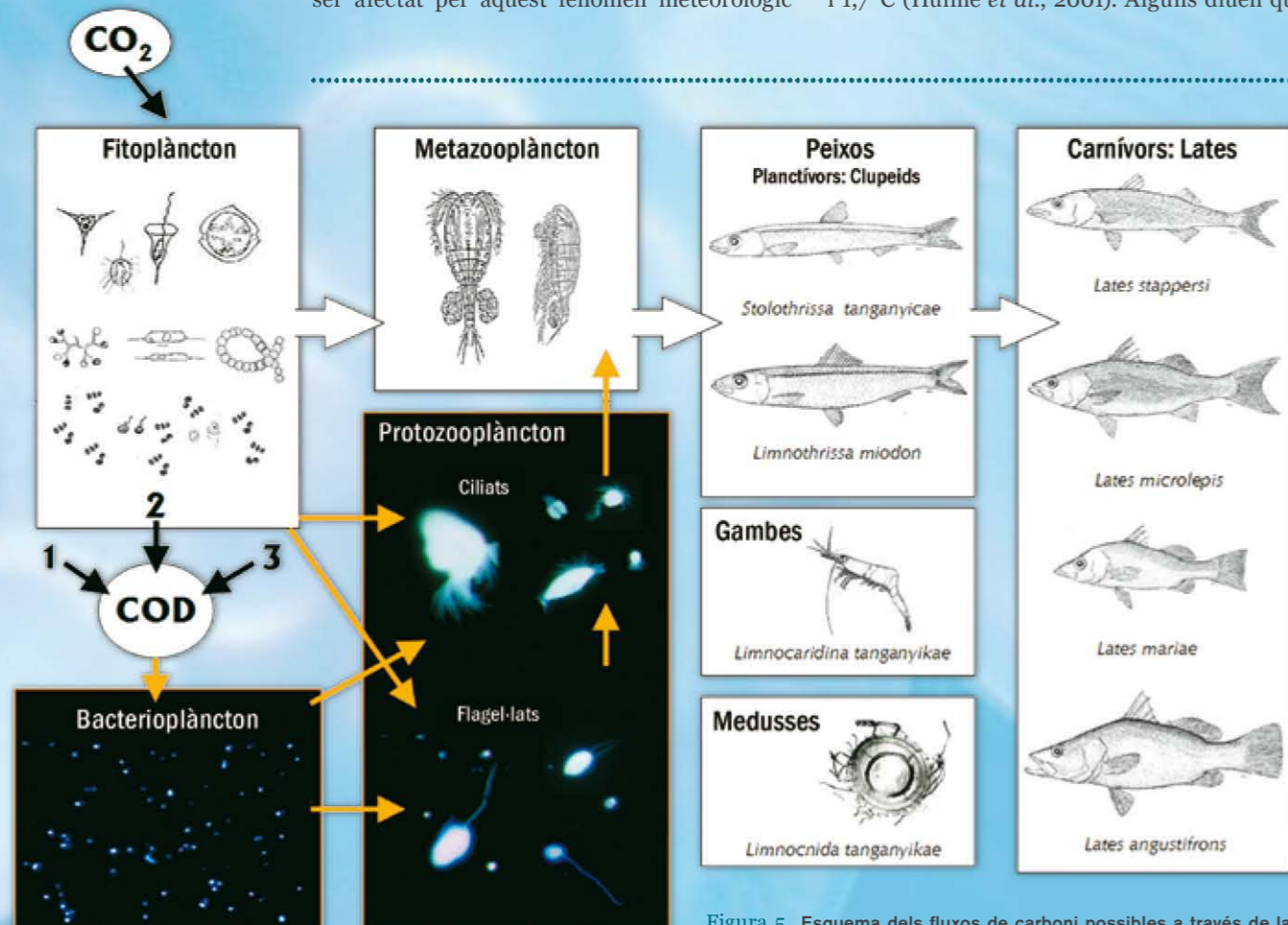


Figura 5. Esquema dels fluxos de carboni possibles a través de la xarxa tròfica microbiana a la zona pelàgica del llac Tanganika. COD: Carboni Orgànic Dissolt. 1. Font de carboni al·locton. 2. Font de carboni a través de l'excreció fitoplantònica. 3. Altres fonts de carboni autòcton, sobretot les aconseguïdes via cel·lular (després de la mort dels organismes del plàncton).

Samuel Pirlot
(Liège, Bèlgica, 1978)



Va presentar el seu doctorat en ciències biològiques l'any 2006 a la Universitat de Namur, Bèlgica, sobre els bacteris del

plàncton del llac Tanganyka. Va evidenciar especialment la contribució de diferents categories de microorganismes a la cadena tròfica de la zona pelàgica del llac. La seva recerca, que s'ha beneficiat d'una borsa de doctorat FRIA (Fons per a la formació de la Recerca en Indústria i Agricultura), s'ha desenvolupat en relació estreta amb el projecte belga CLIMLAKE, *Climate variability as recorded in Lake Tanganyika*, finançat per la Política Científica Federal (BELSPO).

Jean-Pierre Descy
(Namur, Bèlgica, 1949)



És doctor en ciències botàniques per la Universitat de Liège (Bèlgica, 1975) i professor a la Universitat de Namur (1994). El seu camp

de recerca és l'ecologia de les aigües dolces i està especialitzat en l'estudi dels microorganismes. Els seus treballs versen sobre l'avaluació de la qualitat biològica i ecològica de les aigües de superfície i sobre el funcionament dels ecosistemes d'aigua dolça, en particular sobre les relacions tròfiques i la modelització ecològica. Amb relació als grans llacs africans, ha coordinat el projecte belga CLIMLAKE i és promotor de projectes de recerca i de cooperació per al desenvolupament al llac Kivu (Àfrica de l'est).