

BIOSTÈTICA, PERIODICITAT DE LA DISTRIBUCIÓ DE GRANDÀRIES DEL PLÀNCTON I INTEGRITAT DE LES COMUNITATS OCEÀNIQUES

GEORGE E. MIKHAJLOVSKIJ

*Institut d'Oceanologia P. P. Sirsov
Acadèmia de les Ciències de Rússia*

Versió catalana de Francesc Calafell

Els sistemes de poblacions (comunitats, biocenosis, ecosistemes) presenten integritat o tan sols constitueixen un conglomerat arbitrari? Actualment, aquesta és una pregunta cabdal en l'ecologia teòrica. La pròpia idea d'integritat necessita una definició més clara. En aquest treball considerem la integritat igual a omnicausalitat, és a dir, la capacitat del tot de determinar el comportament de les seves parts. En aquest sentit, no totes les estructures poden ser integritats, sinó que només en són les arquitectures definides per E. Haeckel: estructures construïdes sota un pla comú, i no sobre la base d'interaccions locals entre elements veïns. Tanmateix, hom no pot estudiar les arquitectures tan sols amb l'anàlisi dels maons que les constitueixen: calen nous mètodes i aproximacions. Aquest treball tracta d'una d'aquestes aproximacions: la biostètica. Dedicarem la primera part a la història de les idees biostètiques, a les parts constituents de la biostètica i a l'harmonia. Hi subratllarem que la biostètica, com a una de les ciències biològiques, forma part de l'estètica objectiva, la qual és una branca de la ciència i no de la filosofia. La segona part del treball tracta de l'aplicació de l'aproximació biostètica a l'anàlisi de la integritat

de les comunitats planctòniques. Sobre la base dels espectres de grandària del plàncton oceànic esbrinarem una mena de *música ecològica* en la qual cada acord correspon a una mostra de zooplàncton. Segons l'harmonia dels acords hom pot valorar la integritat de les comunitats estudiades. Aquesta metodologia ens ha permès establir la periodicitat de la distribució de grandàries del mesoplàncton simultàniament en dues escales: lineal i logarítmica. Discutirem les possibles causes del fenomen que hem descobert. Els resultats obtinguts donen suport a la idea de la integritat de les comunitats planctòniques.

FONTS DE LES IDEES BIOSTÈTIQUES

La biostètica ens interessarà sobretot com a ciència però no com una de les branques de l'estètica, la qual és, al seu torn, part constituent de la filosofia. Es una ciència contemporània, separada de la filosofia gràcies als tractats de Galileu i I. Newton; està genealògicament connectada només amb els corrents del pensament filosòfic anomenats filosofia natural. Simultàniament, un altre camp de la filosofia —l'estètica— s'inicià com a corrent més enllà

del marc de la pròpia filosofia. Mentre la línia de la filosofia natural en la cultura europea quedà constituïda en les obres d'Aristòtil, la font de l'estètica es troba a Pitàgores.

Per Pitàgores no hi havia dubte de l'existència d'una estètica objectiva. Així com Galileu i Newton proposaren que les regularitats quantitatives de la filosofia natural es donaven independentment de la nostra consciència i percepció, Pitàgores va descriure quantitativament les regularitats de l'harmonia, que ell considerava que també tenia el dret d'una existència independent. Per tant, l'estètica va aparèixer com a ciència al mateix temps (si no ho féu abans) que l'estètica com a part de la filosofia.

Els èxits de Pitàgores no són inferiors als d'Aristòtil i fins i tot als de Newton, però, malgrat tot, no van tenir un desenvolupament posterior ampli i sistemàtic. Sembla que fou Pitàgores qui primer descobrí el nombre d'or. Ell i la seva escola desenvoluparen les idees de la simetria. Fou ell qui creà la doctrina que l'harmonia és la base del món que envolta l'home. El l'harmonia, la simetria, l'ordre, la proporció i el ritme són les principals categories de l'estètica (Tunnard, 1978; Patterson, 1979).

A l'edat mitjana la línia de Pitàgores fou completament oblidada. Aristòtil s'establí implícitament en la cultura cristiana, i això preparà el terreny per a la subseqüent dominació del corrent de la filosofia natural (per oposició a l'estètica) en la ciència, i avui encara en som testimonis. De fet, en el Renaixement, oposat a l'escolàstica medieval (un important element de la qual era l'ensenyament d'Aristòtil), l'estètica objectiva fou no tan sols restaurada de ple dret, sinó que també avançà significativament amb els tractats de Leonardo da Vinci. Els seus dibuixos i pintures dedicats a les proporcions i la simetria dels organismes i, en primer lloc, del cos humà, eixamplaren les idees generals de l'estètica objectiva, i, a més, van fonamentar el corrent específic de l'estètica biològica.

Es troben elements d'estètica biològica en l'obra d'un altre successor de Pitàgores: els cinc llibres que componen *De harmonia mundi* de

Johannes Kepler, publicats el 1619, setanta anys abans de *Philosophiae naturalis principia mathematica* d'Isaac Newton, que finalment conduí la ciència europea pel camí de la filosofia natural. En la seva obra, Kepler va assenyalar per primera vegada la importància del nombre d'or en botànica i també estengué les regularitats biostètiques a l'altre dels dos regnes de la natura viva coneguts aleshores.

No cal dir que la biostètica no és l'únic ni tan sols el principal tema que Kepler tracta en l'obra més important de la seva vida. La seva idea central és estrictament pitagòrica: la recerca de l'harmonia i de la simetria del món. Desenvolupà la darrera, especialment sobre la base astronòmica per demostrar la natura universal de les regularitats que havia descobert.

Sens dubte, moltes de les idees de Kepler faran somriure els lectors actuals, però alguns passatges dels diàlegs de Galileu no semblen pas tan ingenus. Tanmateix, mentre el mètode de Galileu ha estat desenvolupat, polit i perfeccionat durant tres segles i mig, el de Kepler sembla que s'hagi oblidat, i quan s'ha utilitzat, normalment d'una forma inconscient, ha estat tan sols esporàdicament i lluny de la ciència habitual en els llibres de text.

Malgrat aquest llarg oblit, els resultats obtinguts per Kepler foren els primers que obriren una escletxa en el mur aparentment ferm creat per la cultura europea, que separa la ciència i l'art. Les regularitats harmòniques, deduïdes per ell com a resultat de l'anàlisi de les dades astronòmiques de Tycho Brahe, constitueixen els fonaments de la simfonia *L'harmonia del món*, composta per Khindemite el 1951.

De totes formes, ningú en la ciència seriosa després de Kepler no ha gosat explicar o tan sols descriure amb èxit el món que ens envolta des de la perspectiva de l'estètica objectiva. Pel que fa a la biostètica, ha tingut una modesta existència dins del marc de l'estètica, però no dins de la biologia.

Després del descobriment de la perspectiva geomètrica i, posteriorment, de l'aèria, el paisatge apareix en la pintura primer tímidament, i

amb més confiança després, reflectint els criteris estètics dels ecosistemes terrestres i, principalment, de les comunitats vegetals.

Tanmateix, a finals del segle XIX, la biostètica dedica la seva atenció no tan sols als paisatges naturals, sinó també a alguns organismes individuals, tant animals com vegetals. Un dels biòlegs destacats de l'època, E. Haeckel, publicà el 1899 el seu àlbum *La bellesa de les formes de la natura*, on en 100 taules amb comentaris presenta als lectors una meravellosa varietat de formes animals i vegetals.

Aproximadament d'aquesta època, és a dir, al tombant del segle XX, les idees biostètiques començaren a ser objectivitzades i, conseqüentment, penetraren en la biologia. Aquesta penetració es dona a través de dues vies principals: l'anàlisi de les proporcions i la recerca de simetries.

LES PROPORCIONS DELS ÉSSERS VIUS

Els éssers vius són construïts proporcionadament, per regla general, i a la base s'hi troba el nombre d'or descobert per Pitàgores. El nombre d'or resulta de la divisió del segment AB (fig. 1) pel punt C, de forma que la relació de la llargada del segment a la part més gran sigui igual a la relació entre la part més gran i la més petita: $AB/CB = CB/AC$. Aquesta relació condueix a l'equació:

$$x^2 - x - 1 = 0$$

on x és la relació desconeguda AB/CB o CB/AC .

L'equació (I) té dues arrels:

$$x_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} ; x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$$

L'arrel positiva (x_1) és igual a 1,618033989..., i se sol anomenar nombre d'or (ϕ). ϕ , juntament amb π (el quocient entre la longitud d'una circumferència i el seu diàmetre) i el nombre e (base dels logaritmes naturals), són constants irracionals fonamentals.

El nombre d'or, tant directament (com a ϕ) com indirectament (en el conjunt de Fibonacci) juga un paper destacat en l'estructura proporcional dels éssers vius. Començant amb les obres de Leonardo da Vinci s'han acumulat les dades que demostren la noció que les proporcions entre diferents parts del cos humà i d'altres animals, segueixen el nombre d'or. Tothom se'n pot adonar mesurant, per exemple, les longituds de les seves pròpies falanges i calculant-ne les relacions.

Tanmateix, les relacions entre les falanges, i també en altres parts del cos humà o animal canvien al llarg del procés de creixement. Per exemple, les relacions entre les falanges del dit del mig en els nens de quatre anys (2,42, 1,43 i 0,86 cm) són 1,69 i 1,66, respectivament, significativament més grans que el nombre d'or. Però, com S. V. Petukhov observà, les proporcions dels blocs trinomial del cos humà (cap-tronc-extremitats inferiors, cuixa-camapeu, braç-avantbraç-mà i les tres falanges dels

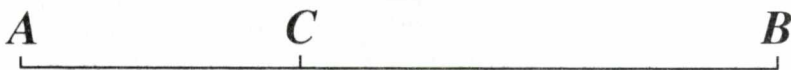


FIGURA 1. Divisió d'un segment en el nombre d'or.

dits) canvien amb el creixement segons les regles de les transformacions concordants. En altres paraules, en cada bloc trinomial l'allargament d'un element està relacionat amb el dels altres dos de forma que un cert quocient roman constant. Aquest quocient s'anomena doble relació o *wurf* (Petukhov, 1988):

$$W = \frac{(CA) (DB)}{(CB) (DA)}$$

on A i D són els extrems i B i C són els punts mitjans del bloc trinomial.

Si la longitud de tots tres elements d'un bloc trinomial es troba en la mateixa relació que tres números consecutius de la successió de Fibonacci (F_n, F_{n+1}, F_{n+2}), llavors la successió dels *wurfs* W_n d'aquestes quantitats és:

$$\left\{ W_n = \frac{(F_n + F_{n+1})(F_{n+1} + F_{n+2})}{F_{n+1} \cdot (F_n + F_{n+1} + F_{n+2})} = \frac{F_{n+3}}{2 F_{n+1}} \right\} :$$

$$; \frac{3}{2} ; \frac{5}{4} ; \frac{8}{6} ; \frac{13}{10} ; \frac{21}{16} ; \dots P = \frac{\phi^2}{2} = \frac{3 + \sqrt{5}}{4}$$

El límit d'aquesta successió s'anomena *wurf d'or* per analogia amb el nombre d'or (Petukhov, 1988).

El *wurf d'or* representa una generalització del nombre d'or. Els *wurfs* de tots els blocs trinomials cinemàtics humans a qualsevol edat s'acosten a aquesta relació, fins i tot aquells els elements dels quals no es relacionen segons ϕ en els adults.

La presència tan estesa del nombre d'or a la natura condueix a un ús no menys estès en les diverses arts. A més de la pintura i l'escultura, on l'ús de les proporcions per als éssers vius és una conseqüència directa d'una adequada expressió de les seves formes (a qualsevol preu a l'escola realista), el nombre d'or és la base de l'arquitectura mediterrània i de la forma de les

àmfores gregues (Ghyka, 1927). I els marges en les pàgines dels llibres i els elements de la tipografia segueixen sovint aquesta proporció (Hambidge, 1932).

Òbviament, per una persona el nombre d'or posseeix un cert valor estètic, que en fa un element important no només de l'estètica objectiva, sinó també de la subjectiva. Sens dubte, no s'ha de considerar que tingui una importància absoluta. Molt sovint les discontinuïtats d'aquesta relació poden jugar un paper important en l'estructura d'una o altra obra d'art, tot produint en un cert moment, o en un cert lloc, un fort efecte emocional que no sempre és negatiu. Es pot dir el mateix de la simetria, el paper de la qual no és pas menys significatiu en la natura.

LA SIMETRIA EN ELS SISTEMES BIOLÒGICS

La simetria perfecta, encara que molt sovint s'empra en les obres d'art (en els ornaments, per exemple), fa sempre la impressió de ser quelcom mancat de vida, glaçat, incapaç de desenvolupar-se. Això sembla tenir relació amb la idea que en la natura viva la simetria és més o menys discontinua, sigui per la asimetria de petits elements o per la dissimetria, o per la manifestació d'elements de simetria d'ordre superior, al nivell de la integritat. I al mateix temps, en qualsevol sistema biològic la simetria es troba inevitablement present, en una o altra forma, la qual cosa és una conseqüència directa del principi de simetria que V. I. Vernadskij (1929) considera que és un nou principi de la natura, la importància completa del qual no es posà de manifest fins al segle XX.

La ciència que estudia tals fenòmens rep el nom de promorfologia o l'ensenyament de la simetria biològica. Es basa en Haeckel i fou desenvolupada en detall per V. N. Beklenisev (1964). Per comparació amb la promorfologia dels organismes, la dels sistemes de nivell superior a l'organisme (poblacions, ecosistemes,

biocenosis) no s'ha desenvolupat: no existeix en absolut. El mateix es pot dir de la morfologia d'aquests sistemes biològics, per als quals cal tractar primer el fet que no hi ha una determinació de la forma. Tornarem a aquesta idea en el següent capítol. I, malgrat tot, podem donar un exemple d'investigació promorfològica d'un sistema de nivell superior a l'organisme, encara que el propi autor no ho considerà així.

Parlem del llibre de L. L. Cislenco (1981) *L'estructura de la fauna i de la flora relativa a la mida dels organismes*. Un dels seus capítols és dedicat a la investigació de l'estructura de la grandària de la població pelàgica dels oceans. Cislenco va incloure en la seva anàlisi un xic més de 5.000 espècies pelàgiques de les quals es coneix la seva mida lineal, que fa la meitat o un terç del total d'espècies pelàgiques, segons les seves estimacions. Per a cada espècie considerada, calculà la mida lineal reduïda, és a dir, la

mitjana geomètrica de la llargada, amplada i alçada. Comparant per grups d'espècies, la distribució dels resultats obtinguts amb la mida reduïda i amb la llargada corporal mostren diferències petites. La distribució acumulada feta per Cislenco es troba a la fig. 2.

En aquesta figura hom veu que les diverses grandàries varien considerablement pel que fa al nombre d'espècies representades. A més, la distribució obtinguda és realment polimodal i la disposició de les modes al llarg de l'escala logarítmica es caracteritza per una marcada periodicitat.

Hi ha un període gran, igual a 1,5 en l'escala logarítmica, que es pot retrobar sense blancs, o, segons la terminologia de Cislenco, sense llacunes. Però l'autor no descriu totes les modes que apareixen. Aquest període gran correspon a diferències de mida, trenta-dues vegades en l'escala lineal. També es troba un període tres vegades menor en l'escala logarítmica, és a dir,

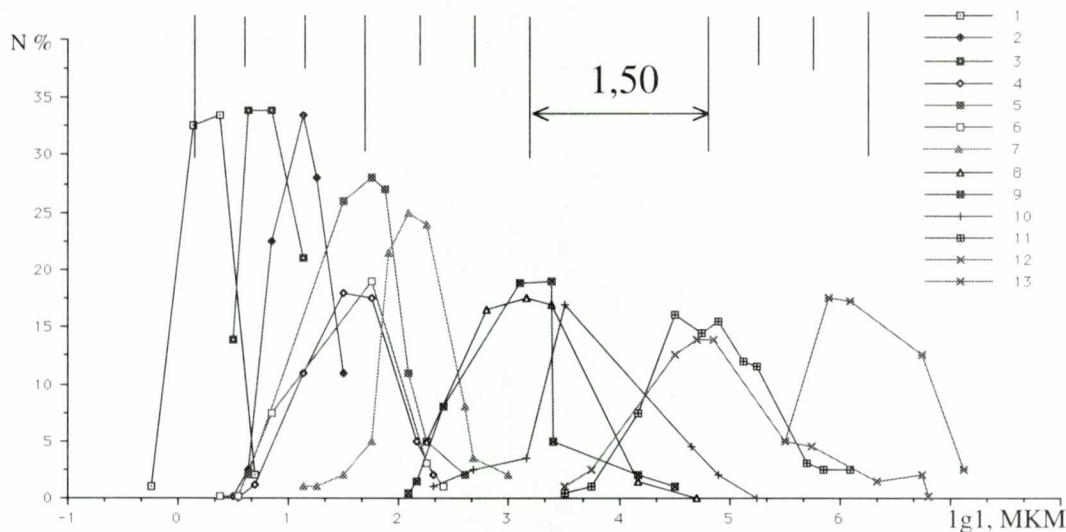


Figura 2. Distribució percentual del nombre (N) d'espècies en grans taxons dels organismes pelàgics dels oceans mundials segons les seves mides reduïdes. 1 - Crustacea, 2 - Flagellata, 3 - Pisces, 4 - Cetacea, 5 - Bacteriae, 6 - Diatomea, 7 - Ciliata, 8 - Cephalopoda, 9 - Copelata, 10 - Radiolaria, 11 - Cianophyta, 12 - Saccharomycetes, 13 - corba mitjana per a Gastropoda, Coelenterata, Salpae, Nemertini i Polychaeta. (De Cislenco, 1981).

0,5, que correspon a una diferència de 3,16 vegades en l'escala lineal, un valor molt proper a π . Aquest període cobreix totes les modes disponibles, i al mateix temps és característic de les llacunes presents, especialment en la part dreta de la distribució.

En qualsevol cas, la primera llacuna (comptant d'esquerra a dreta), que es troba entre els modes corresponents a *Sarcodina* i *Copelata* (Crustacea), es podria omplir amb les formes larvàries dels crustacis pelàgics, que formen un grup ecològic nombrós i marcadament definit. Tanmateix, l'autor es limità en el seu estudi als adults de cada espècie.

Què ens fa pensar que els resultats obtinguts són promorfològics?, no cal dir que la simetria de la distribució de grandàries de Cislenco s'expressa en la periodicitat logarítmica dels modes. Aquest tipus de simetria s'anomena translació o transferència paral·lela i és àmpliament difosa, per exemple, en els ornaments. Però com que la translació ocorre en aquest cas al llarg de l'eix de grandària, es pot considerar com a escalat o simetria d'escala. Al capdavant, tenint en compte que l'escala de grandària aplicada per Cislenco és logarítmica, el fenomen que ell descobrí es pot interpretar com una progressió geomètrica amb una base propera a π . Aquesta progressió reflecteix un cert sistema de proporcionalitat, construït no sobre el nombre auri (ϕ), sinó sobre el quocient entre la circumferència i el diàmetre (π). Ocasionalment, el nombre ϕ (que en l'escala logarítmica de la fig. 2 val 0,209777) també juga un cert paper en la distribució obtinguda per Cislenco: tal com es pot deduir fàcilment de l'anàlisi de la fig. 2, pràcticament tots els elements distingibles de l'estructura fina de les corbes per a grups individuals, com els plans sobre els seus cims i les seccions entre les fractures, tenen projeccions sobre l'eix de les abscisses iguals o (normalment) múltiples de $\log \phi$.

Per tant, els resultats de Cislenco ens permeten esperar que sigui possible fer arquitectòniques i, en particular, promorfologies d'ecosistemes i altres sistemes de nivells

superiors en la jerarquia biològica. Demostren també una estreta relació entre proporcions i simetries, que, juntament amb l'ordre, el ritme i l'harmonia, componen les idees generals de l'estètica objectiva.

Gairebé no val la pena estudiar amb detall l'ordre i el ritme en els sistemes biològics. Aquest és un camp d'estudi força consolidat i hom en pot trobar una àmplia bibliografia.

La termodinàmica i la cinètica dels processos irreversibles estudien els problemes de l'ordre i el caos (Prigogine, Stengers, 1984). Pel que fa als ritmes biològics i circadianis, són estudiats principalment per la bioritmologia, que ha acumulat una gran base experimental al llarg del seus pocs decennis d'existència; tanmateix, encara no ha desenvolupat una base conceptual suficientment sòlida. La bioritmologia estudia només els ritmes temporals, i oblida els espacials que es donen, per exemple, en l'estructura de les membranes, el metamerisme dels organismes o en els estrats dels boscos. Les distribucions polimodals de Cislenco es poden considerar també com a manifestacions d'un ritme, no espacial, sinó dimensional.

Malgrat tot, ni la bioritmologia ni la biotermodinàmica es consideren en absolut parts de la biostètica. Per això, la informació acumulada per aquestes ciències no es pot utilitzar per a la història de la biostètica, sinó com a base del futur desenvolupament i establiment com a ciència independent.

Un altre problema són les idees sobre l'harmonia dels sistemes biològics. Aquestes idees no oculten ni poden ocultar la seva natura biostètica, ja que la idea d'harmonia és el nucli de l'estètica objectiva, incloent-hi la biostètica.

L'HARMONIA DE LA NATURA I LA BIOSTÈTICA COM A CIÈNCIA BIOLÒGICA

El concepte fonamental de l'estètica és la bellesa. Això només és cert per a l'estètica subjectiva. La bellesa neix d'un procés de creació

o d'un procés de percepció. Ambdós processos impliquen la presència d'un subjecte. I aquest subjecte sol ser un humà o el Creador (en les concepcions teosòfiques). Algunes dades indiquen que els animals superiors poden fer el paper de subjecte perceptor i, fins i tot, creador. G. Hutchinson (1963) assenyalà la presència d'una apreciació de la bellesa, o almenys de la simetria, en els primats antropomorfs. En les construccions dels insectes socials, en els nius d'alguns ocells, en les galeries dels corcs de la fusta i en altres casos es troben certament presents elements de bellesa com la simetria, l'ordre, i, en alguns casos, el ritme i la proporcionalitat.

L'estudi de l'apreciació de la bellesa pels animals es pot considerar com una branca més de la biostètica, estretament lligada amb les qüestions etològiques. Tanmateix, aquesta branca, a diferència de les esmentades anteriorment, es relaciona amb l'estètica subjectiva però no amb l'objectiva, ja que estudia les mateixes idees, com el sentiment de la bellesa i la pròpia bellesa.

La bellesa, objectivitzada pel procés de creació dut a terme per un subjecte, pot existir en un estat objectivitzat com a part de la realitat objectiva absolutament independent, tant dels subjectes objectivitzants com subjectivitzants (en el procés de percepció). Una bellesa així objectivitzada és harmonia real.

Normalment, l'harmonia en la natura es troba associada principalment amb els organismes. En canvi, Lubisev (1982), referint-se a les obres d'autors anteriors: A. P. Semenov, G. Gadov i E. A. Schultz, escrigué sobre la presència d'un cert estil en l'aparició, i, per tant, en l'harmonia dels organismes residents en un territori concret. Anomena aquest estil geogràfic el *genius loci*. L'estil de qualsevol obra d'art és determinat pel medi cultural en el qual fou creada. No fóra natural, doncs, lligar l'estil geogràfic dels organismes amb el medi en el qual foren creats i en el qual existeixen? I aquest medi és l'ecosistema o la biogeocenosi més àmplia. Nogensmenys, per deixar la seva traça, no per destruir, sinó només per modificar, tot mantenint

l'harmonia, cal una altra harmonia, l'harmonia de la integritat del següent nivell jeràrquic, l'harmonia de l'ecosistema.

Recentment ha aparegut una gran quantitat d'obres dedicades a la bellesa i a l'harmonia del medi o ambient natural i, per tant, dels ecosistemes i biogeocenosis que el componen, i fins i tot de la biosfera com un tot. (Bartuska i Young, 1975; Fröhlich, 1976; Rolston, 1986; Sepämaa, 1986). Però totes elles són de caire subjectiu; investiguen la bellesa i el valor estètic de l'ambient tal com l'home els percep. No hi ha cap treball del camp específic de l'harmonia dels ecosistemes, ni dels éssers vius; harmonia com un tot i no com els seus elements individuals, que hem discutit en els apartats anteriors. I sense el desenvolupament d'una metodologia per a aquestes recerques —una metodologia essencialment arquitectònica— la biostètica es donarà només com un conjunt d'observacions separades, potser també com a regularitats extremadament interessants, però no com una ciència biològica independent. Sobre la base de la creació i la difusió d'aquesta metodologia, la biostètica pot assolir la categoria de ciència biològica.

Hem desenvolupat i aplicat un d'aquests mètodes als ecosistemes pelàgics. La base d'aquest mètode és l'establiment de les connexions entre l'espectre fi de l'estructura detallada de grandària del plàncton i els acords musicals, és a dir, la composició o, més estrictament, la revelació de la *música ecològica*, l'harmonia de la qual podria permetre avaluar l'harmonia dels ecosistemes planctònics.

LA MÚSICA ECOLÒGICA COM UNA TENDÈNCIA EN LA BIOSTÈTICA DE CAMP

La revelació de la *música ecològica* tal com l'acabem de definir es basa en els espectres de l'estructura de grandàries de les comunitats, construïts a partir de mesuraments d'individus concrets. Aquests espectres ens permeten obtenir

la informació que manca, fins i tot potencialment, en l'estructura de les espècies. Depèn almenys de dues circumstàncies.

Primer, la relació entre la quantitat (biomassa) d'una certa espècie i la seva grandària mitjana encara no proporciona l'estructura de grandària, perquè fins i tot amb una divisió molt grollera de l'escala de grandària, no tan sols apareixen diferents espècies en un sol grup de grandària, sinó que una mateixa espècie, al llarg de les seves fases de desenvolupament, es trobarà en diversos grups de grandària. I en segon lloc, és impossible obtenir, a partir de l'anàlisi de l'estructura de les espècies, sense processar els resultats de mesuraments específics d'individus, les característiques més precises de la distribució del nombre d'espècies (biomassa) en grandàries determinades.

L'interès per l'estructura de grandàries de les comunitats planctòniques ha augmentat força les dues darreres dècades.

Però, per regla general, qualsevol investigació d'aquesta mena empra espectres de grandària més aviat grollers. Es representen habitualment en escala logarítmica, de manera que les classes dimensionals adjacents poden variar substancialment; normalment, una classe sol ser el doble de gran que la següent. Per exemple, J. Rodrigues i M. M. Mullin (1986) van estimar l'abundor de plàncton segons la biomassa dins dels grups de grandària 0,183-0,3; 0,3-0,5; 0,5-1; 1-2; 2-4; i 4-8 mm. Dividiren el plàncton amb filtres amb les malles corresponents. Simplement ignoraren qualsevol distinció més fina en l'estructura de grandària. Fins i tot amb tècniques més acurades d'estimació de grandària (Bailey-Watts, 1986), l'estructura fina dels espectres de grandària (és a dir, la discriminació de grandàries diferents només en un petit percentatge) no es troba dins els objectius de la investigació i és ignorada.

El problema de la correlació de mides individuals (llargades) dins d'una comunitat és principalment una qüestió morfològica. De fet, la forma és regular o proporcional i no arbitrària, i resulta de la correlació entre les longituds de les

parts i la seva disposició mútua.

Fa temps que es coneix l'important i fins i tot decisiu paper que té la forma en la sistematització i l'estudi dels organismes. La relació de mides per als adults de les espècies als límits dels taxons superiors també es força regular, tal com va demostrar L. L. Cislenko (1981).

En aquest sentit és possible dir que els gèneres, famílies, ordres i així successivament tenen la seva forma. Si les comunitats també posseeixen una forma anàloga (el que és probable segons la fig. 2), llavors, deu aparèixer en forma de proporcionalitat de grandàries entre alguns individus. Es força obvi que, per detectar i estudiar aquestes proporcionalitats cal l'anàlisi de l'estructura fina dels espectres de grandària.

El descobriment de la proporcionalitat de grandàries, tot desconeixent *a priori* la llei de la proporcionalitat, es presenta com un problema independent. Ens hem aproximat a la seva resolució mitjançant la projecció de les grandàries dels individus planctònics sobre l'escala cromàtica dels sons acceptada en la música europea contemporània i decidint la presència de proporcionalitat segons la consonància dels acords produïts.

Fa més de tres dècades, R. Margalef (1957) suggerí considerar una mostra de plàncton com un mot d'un cert idioma, cada lletra del qual correspondria a una espècie d'organisme planctònic. És una idea molt profunda i heurística, i sembla ser una de les primeres en el camp de la biosemiótica. L'autor d'aquestes ratlles va provar de portar-la a la pràctica durant molts anys. Però, malauradament, no reeixí en l'estudi de la llengua de les mostres planctòniques.

Recordem un altre llenguatge, el llenguatge universal de la natura. És el llenguatge de la bellesa, de l'harmonia: el llenguatge musical. Aleshores, cal considerar la mostra de plàncton no com una paraula, sinó com un acord, una paraula en el llenguatge de la música. I les notes que formen aquest acord es corresponen a les grandàries més típiques, és a dir, les longituds dels individus en una mostra de plàncton.

L'escala cromàtica dels sons és una escala

logarítmica (de base 2) de freqüències sonores. La diferència en l'altura del to en una octava correspon a una unitat en l'escala logarítmica, és a dir, al doble de la freqüència del so. Aquest interval és dividit en dotze parts, que formen les set notes bàsiques i les cinc addicionals de cada octava.

De la mateixa forma les longituds dels individus del plàncton es poden projectar a l'escala cromàtica. Cada octava correspondria a una classe grollera de grandària, els límits de la qual serien l'un el doble de l'altre. Cada classe d'aquest tipus estaria dividida en dotze intervals o classes dimensionals fines, en l'escala logarítmica de base 2, corresponents als dotze semitons de l'escala cromàtica (set tecles blanques i cinc tecles negres en l'octava d'un piano).

La consonància dels acords indica la proporcionalitat de les freqüències harmòniques (o d'altres valors que hi fem correspondre), i, viceversa, la dissonància està relacionada amb la manca de proporcionalitat. Per tant, projectant les dimensions dels elements del cos humà i d'altres organismes animals i vegetals construïts proporcionalment sobre l'escala cromàtica obtindrem consonància, és a dir, acords harmònics. En particular, el nombre d'or dona l'acord consonant do-sol sostingut amb la precisió d'un graó d'escala cromàtica. La projecció sobre l'escala cromàtica de la relació π :1 obtinguda per L. L. Cislenko (1981) també dona l'acord do-sol sostingut, però en aquest cas les notes no pertanyen a la mateixa octava, sinó a octaves veïnes.

Quan triàrem l'escala cromàtica europea ho férem exclusivament per raons de comoditat, com la possibilitat d'utilitzar la notació musical habitual i de poder interpretar els acords obtinguts en instruments musicals convencionals, especialment el piano. Tanmateix, qualsevol altre sistema musical prou desenvolupat també hauria servit. En qualsevol sistema musical, cap correlació arbitrària i no proporcionada entre les longituds projectades no pot donar acords consonants harmoniosos.

El material per al treball fou extret dels

resultats del processament de mostres de mesozooplànton, seleccionades durant el 38è viatge del vaixell científic *Dmtrij Mendelejev* l'hivern 1986-87 a les trenta-cinc estacions assenyalades a la fig. 3.

A cada estació, les mostres es prengueren entre les 9 i les 12 del matí, de dotze a quinze horitzons, a una fondària màxima de 200 m. En tres estacions, les mostres del matí foren complementades amb mostres nocturnes. Les mostres s'extreien amb un recipient de 150 litres, dels quals se n'empraven 100 per comptar el mesozooplànton. Després d'això, la mostra, fixada amb formalina, era processada sencera. Tot això garantia el recompte complet d'individus d'un gran volum d'aigua oceànica, la qual cosa no es pot assolir del tot quan s'utilitzen altres mètodes de mostreig.

L'abundància de zooplàncton en la mostra fou determinada per uns cinquanta grups funcionals, especificats per al Pacífic per M. E. Vinogradov i E. A. Suskina. El rang dimensional total era 0,125-32 mm. La mostra fou observada en una cambra de Bogorov utilitzant un microscopi binocular a 48 augments. Amb aquests augments, un punt del micròmetre ocular correspon a 0,025 mm; amb aquesta precisió es mesuraren els individus. Per a cada grup funcional del mesozooplànton mesuràrem les longituds de tots els individus o de quinze a vint exemplars arbitraris si el nombre total d'individus depassava aquesta quantitat. Vam mesurar, doncs, uns quants centenars d'animals en cada mostra. Normalment, mesuràrem la longitud màxima de cada individu, però per a *Apendicularia* prenguérem la longitud del cos (sense la cua) i per als crustacis la llargària del cefalotòrax.

Aquestes mostres foren processades independentment dels aspectes que tractem en aquest article, amb l'objectiu d'estudiar la distribució espacial i l'estructura de les comunitats planctòniques per utilitzar-les en el model trofodinàmic de l'ecosistema pelàgic de l'oceà Pacífic proposat pel Prof. M. E. Vinogradov i la Dra. E. A. Suskina. Les mostres

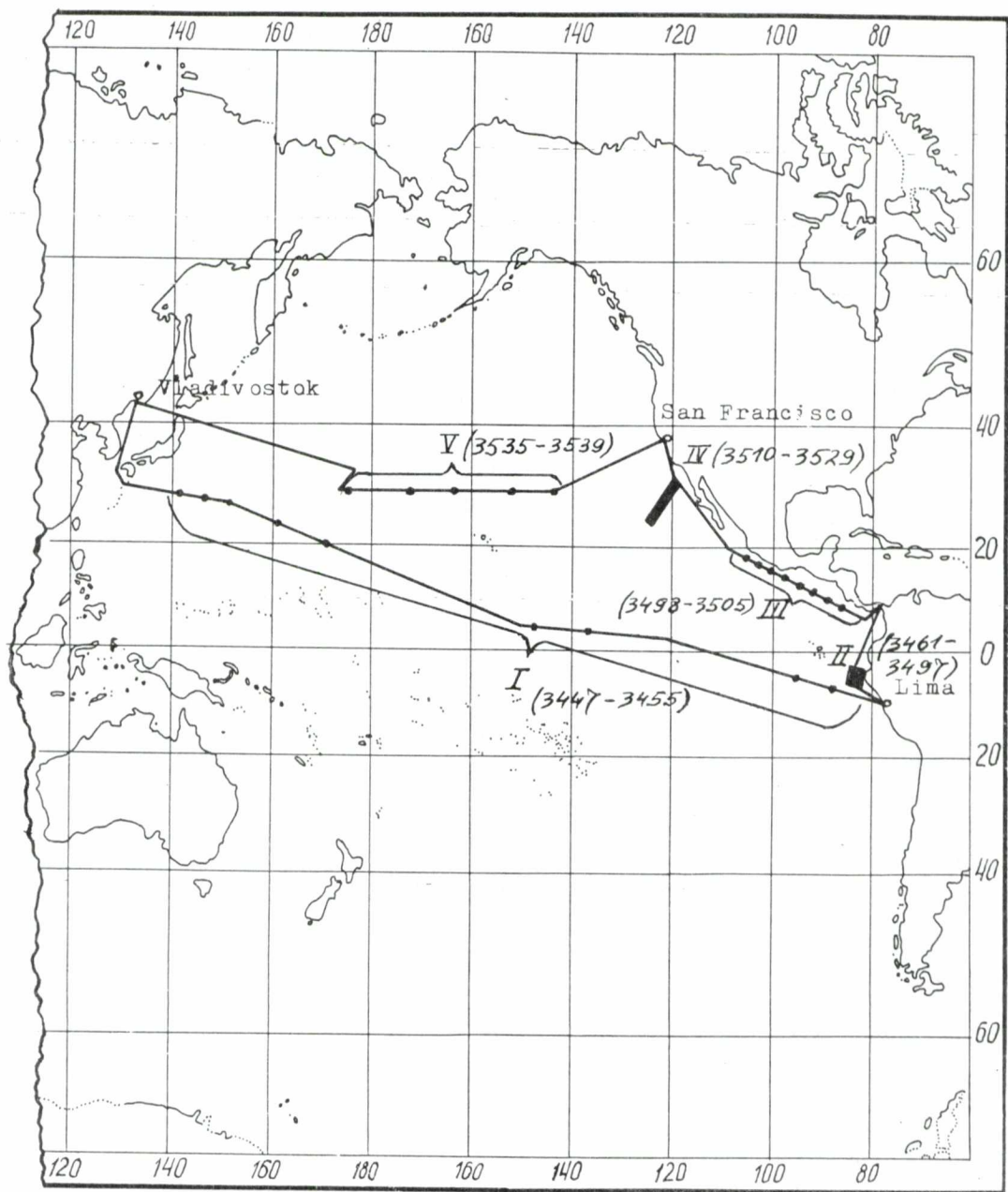


FIGURA 3. Mapa de les posicions de les estacions en la 38a travessia del «Dmitrij Mendelejev». 1 - Tram trans-Pacífic. 2 - Regió peruana. 3 - Tram centramericà. 4 - Regió californiana. 5 - Secció al llarg del paral·lel 30° N.

foren processades per la Dra. G. G. Nikolaeva, la Dra. E. I. Musajeva i la Dra. E. A. Suskina, a qui l'autor està profundament agraït.

Les dades obtingudes tal com s'ha descrit, incloent-hi totes les mesures dels individus, foren introduïdes a l'ordinador ES-1010 del vaixell, cosa que permeté, amb l'amable permís i ajuda de la Dra. E. A. Suskina, construir espectres de grandària per analitzar la seva estructura. Amb aquesta finalitat, es confeccionà un programa d'ordinador amb l'algorisme que es descriu a continuació.

El nombre total d'individus a cada grup funcional de mesozooplànton, calculat per metre cúbic, es distribuïa per als valors individuals de longitud, mesurats per a cada grup, pro-porcionalment a la seva freqüència. Per exemple, si el vector de mesures contenia quinze valors: 12, 18, 14, 12, 15, 12, 12, 17, 15, 14, 15, 15, 14, 12, 20 (en punts del micròmetre ocular), la quantitat total es dividia per quinze, d'on cinc dels valors s'adscriuen a la longitud 12, tres a la longitud 14, quatre a la longitud 15 i un a cadascuna de les longituds 17, 18 i 20. Després d'això, les quantitats corresponents a cada longitud se sumaven per a tots els grups funcionals presents en una mostra donada.

En el següent pas, totes les longituds amb les corresponents freqüències es projectaren en l'escala logarítmica de base 2, dividida en intervals d' $1/12$, tal com es fa amb les freqüències sonores en l'escala cromàtica. Això ens permet interpretar l'espectre de longituds de qualsevol mostra com un acord i estimar la proporcionalitat de les llargades del zooplànton a partir de la consonància de l'acord. Un decrement de la longitud s'interpretava com un increment en l'alçada del to, prenent la longitud 1 mm com el do^3 . Per facilitar la interpretació al piano, totes les longituds superiors als 2 mm es transcrivien en l'octava que comença en el do^2 , mentre les longituds compreses en l'interval entre 0,5 i 0,25 mm es transcrivien en l'octava del do^3 . L'exclusió de l'interval entre 0,125 i 0,25 mm és deguda al fet que la projecció d'aquestes longituds sobre les 12 notes de l'escala

corresponents a l'octava que s'inicia en el do^4 no es pot considerar correcta ja que la discriminació d'aquesta part de l'escala és insuficient en ser coberta només per 5 punts del micròmetre ocular.

Com a resultat, el programa informàtic produïa 24 notes pertanyents a dues octaves del compàs corresponents als nombres absoluts. A més, el programa podia produir la distribució de les quantitats d'individus del zooplànton en el rang sencer de valors de longitud en l'interval de 10 a 15 punts del micròmetre ocular (és a dir, de 0,25 a 1,125 mm amb una precisió de 0,025 mm).

CONSONÀNCIA DE LA MÚSICA ECOLÒGICA

Comencem analitzant les dades obtingudes per a cada mostra després dels càlculs descrits anteriorment. Noteu que podem esperar proporcionalitat de les longituds individuals i consonància dels acords corresponents, primer d'una mostra definida, presa d'un cert volum d'oceà poblat per alguna comunitat. Acceptarem el criteri de 50 % per produir els acords. Això implica que en l'espectre fi de grandàries especificarem la classe dimensional (la nota) corresponent al nombre màxim. Totes les notes a les quals corresponia una freqüència d'individus igual o superior al 50 % de la classe més freqüent es consideraven rellevants i s'inclogueren en l'acord, mentre que la resta de les notes es consideraven soroll i les ignoràvem. Aquest procediment fou dut a terme per separat per a l'octava del do^2 (longitud > 1 mm) i del do^3 (longitud ≤ 1 mm). Òbviament, el criteri del 50 % fou adoptat *ad hoc*, però la seva modificació, dins d'un marge molt ample, no afecta substancialment el resultat final.

La consonància dels acords obtinguts s'estimà d'oïda com la seva harmonia. Els acords marcadament harmoniosos o no harmoniosos foren considerats consonants o clarament dissonants, respectivament. Tots els casos dubtosos s'interpretaren com a lleugerament

TAULA I

Grups de grandària

REGIÓ	< 1 mm			> 1 mm		
	C	LD	MD	C	LD	MD
Peruana (2)	68,1	23,9	23,9	66,7	25,1	25,1
Californiana (4)	78,3	12,8	8,9	74,0	15,7	10,3
Centramericana (3)	72,6	19,9	7,5	68,8	21,8	9,4
Transsecte Trans-Pacífic (1)	79,6	13,0	7,4	86,0	8,0	6,0
Secció a 30° N	87,2	10,5	2,3	70,0	18,7	11,3
Mitja	77,2	13,0	9,8	73,1	17,9	9,0

Percentatges dels espectres fins de grandària que produeixen acords consonants (C), lleugerament dissonants (LD) i marcadament dissonants (MD), per a les cinc regions del Pacífic (vegeu la fig. 3).

dissonants.

Com a mitjana, unes tres quartes parts de les mostres donaren acords consonants, i només per a una desena part de les mostres obtinguérem dissonàncies marcades. La distribució de les freqüències de consonància i dissonància en cinc àrees del Pacífic investigades es presenta a la taula I.

Com es veu a la taula I, la major projecció de dissonàncies (tant marcades com lleugeres) es manifesta a les regions d'aflorament, especialment a la peruana, malgrat que el procés d'aflorament fou més aviat dèbil durant la nostra travessia. La fig. 4 mostra la distribució bidimensional de consonància i dissonància en el tram peruà. Cal fer notar que les dissonàncies (i, per tant, la manca de proporcionalitat entre les longituds dels individus) es concentren principalment a les zones d'aflorament i de mescla de masses d'aigua tropicals i també en la zona de pronunciats gradients de temperatura i densitat o al voltant d'aquesta zona.

En quina mesura és universal la proporcionalitat descoberta (i, respectivament, la forma) per a comunitats diverses? Pertanyen els acords obtinguts a una tonalitat específica o la seva distribució al llarg de l'escala és arbitrària?

Per a respondre aquestes qüestions estudiarem els espectres produïts des d'un punt de vista un xic diferent.

TONALITAT DE LA MÚSICA ECOLÒGICA

Per determinar la tonalitat vam comptar la freqüència d'aparició de les notes en tots els acords i l'expressarem en percentatge. Com a resultat, s'obtingueren espectres generalitzats per a cada regió de l'oceà i per a la mitjana de totes les regions. Aquests espectres, que podem anomenar espectres de freqüència, per diferenciar-los dels originals, es presenten a la fig. 5.

Hom pot veure fàcilment que algunes línies (notes) destaquen clarament dins dels espectres. Això indica que la distribució dels acords corresponents als espectres originals no és de cap manera arbitrària. A més, en algunes regions (especialment el transsecte Trans-Pacífic), les línies que sobresurten formen les set notes de l'escala major. Per a l'octava del do^2 (> 1 mm), l'escala major es distingeix millor i correspon a la tonalitat la major, mentre que per a l'octava de do^3 (≤ 1 mm), les notes de l'escala major es

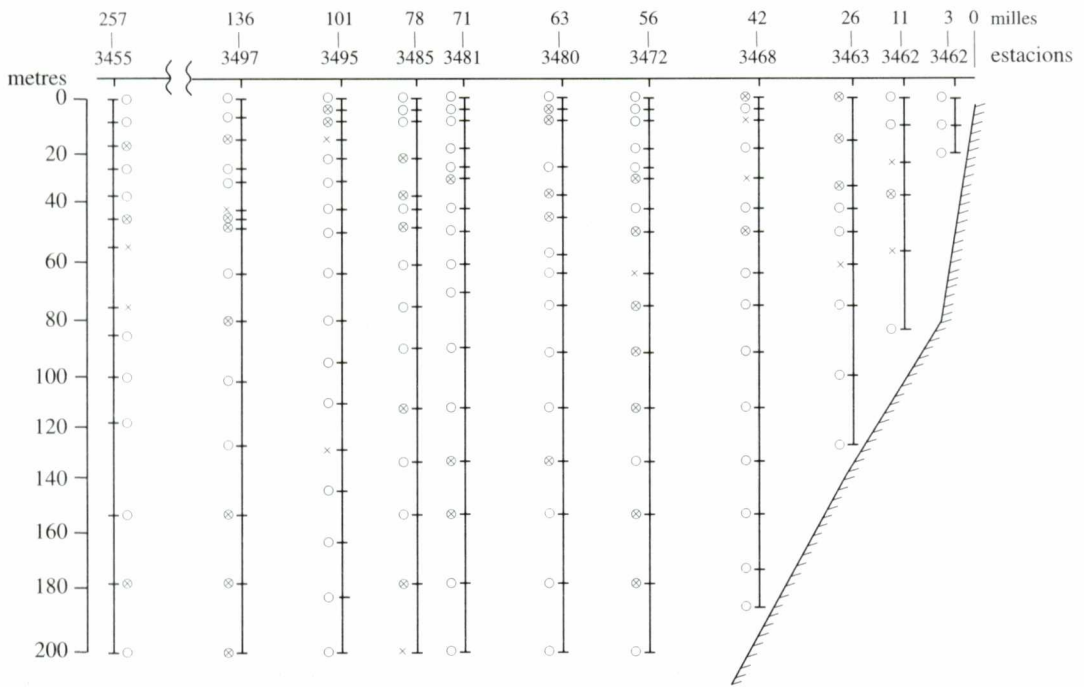


FIGURA 4. Localització dels acords consonants (○), lleugerament dissonants (⊗) i marcadament dissonants (x) corresponents als espectres fins de grandària del mesoplàncton en la regió peruana. L'eix vertical representa profunditat, i l'horitzontal, distància des de la costa (a dalt) i número de l'estació (a baix).

distingeixen amb més dificultat, especialment en la part esquerra de l'escala, i corresponen a la tonalitat sol major. Certament, la tonalitat concreta ve determinada pel nostre punt de referència, és a dir, la correspondència entre la longitud d'1 mm i el do^3 . Tanmateix, la armadura de la tonalitat (major o menor) no depèn del punt de referència, ni tampoc la diferència entre la tonalitat de les octaves que comencen amb els do^2 i do^3 , respectivament.

El fet que l'octava del do^2 presenti una situació més ben definida s'explica fàcilment. En les longituds que depassen 1 mm cada classe correspon a deu o més mides individuals (segons si hi havia animals més grans en la mostra), mentre que per a l'octava del do^3 , només hi ha dues o tres mides, la qual cosa fa augmentar la probabilitat d'errors aleatoris. Ambdues tonalitats són inequívocament majors, és a dir, la

seqüència d'interval que presenten començant des de la nota clau, que és *la* per a l'octava del do^2 i *si* per a la del do^3 , són to-to-semitò-to-to-semitò. Si fem una sola escala unint les dues (fig. 5, a baix), llavors la seqüència d'interval començant des del do^2 fins al si^3 serà com segueix: semitò-to-to-to-semitò-to-to-to-semitò-to-to-to-semitò. Aquesta seqüència es pot interpretar com una manifestació de la disposició en quinta de l'escala, característica de l'antiga música grega, més que no pas de la disposició en octava.

La detecció de tonalitats per a les octaves del do^2 i del do^3 demostra la periodicitat dels espectres de freqüència de grandària en l'escala logarítmica, encara que no es manifesti amb la mateixa intensitat en diferents trams. Pel que fa al nombre de mostres, el tram peruà era el més ben representat. Aquest tram és també el més divers en estructura de les masses aquàtiques:

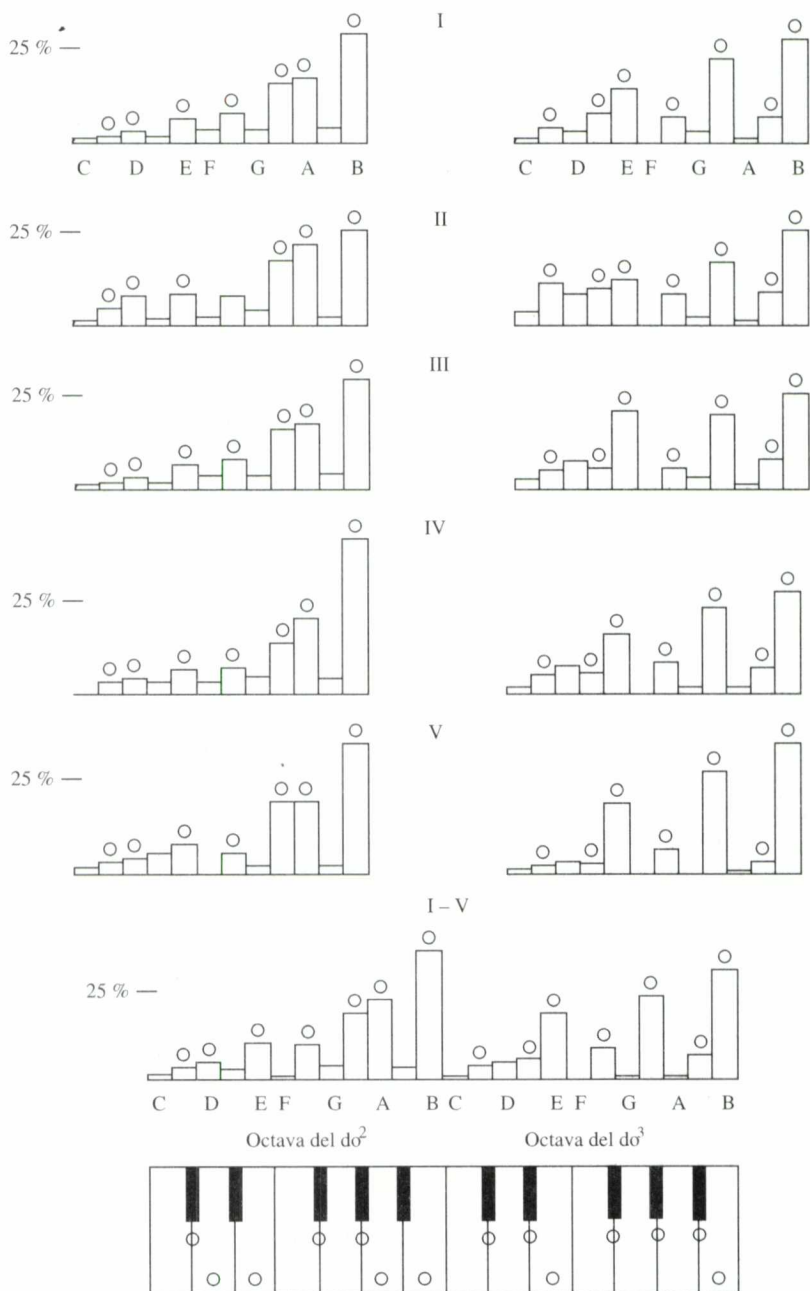


FIGURA 5. Espectres fins de freqüència de grandàries (en l'escala logarítmica) per a diferents regions del Pacífic i per a la mitjana de totes cinc regions. L'octava que comença en el do^2 és a l'esquerra, la que comença en el do^3 és a la dreta. A l'eix de les x, les notes de l'escala musical; al de les y, freqüències relatives (en %). Els cercles marquen les notes de la corresponent tonalitat.

les quatre estacions més properes a la costa pertanyen a la zona d'aflorament, les quatre següents corresponen a la zona de mescla de masses d'aigua i les tres més allunyades són totalment oceàniques. Al mateix temps, per a algunes de les classes de longitud dins del tram peruà, especialment per a les menors d'1 mm, la tonalitat en l'extrem esquerre de l'espectre s'expressa dèbilment: les diferències entre les freqüències relatives del do sostingut, re, re sostingut i mi són molt lleugeres.

Quina pot ser la raó de tot això? Té res a veure amb la diversitat del tram peruà? Per confirmar aquesta suposició vam haver d'analitzar per separat les tres zones esmentades abans.

Els resultats obtinguts (fig. 6) desmenteixen la nostra hipòtesi. Totes tres zones, fins i tot la central, la més diversificada, donen imatges semblants. Només la zona oceànica presenta una tonalitat expressada un xic més clarament per a l'octava del do³. Per tant, les comunitats de la zona d'aflorament i de l'oceà es caracteritzen pel mateix espectre de freqüències de grandària. Això implica que la poca claredat de l'espectre global del tram peruà no es pot explicar per una superposició d'espectres de diferents comunitats.

La zona peruana no és tan sols la més diversa de les regions estudiades. També conté la major part de les dissonàncies observades (vegeu la taula 1). A causa d'aquest fet, era interessant construir els espectres de freqüència per separat per a les mostres, els espectres originals de les quals donaren acords consonants i dissonants. Per fer aquest darrer apartat més representatiu, vaig considerar tant els acords lleugerament dissonants com els marcadament dissonants. Els resultats es presenten a la fig. 7.

L'aspecte és molt diferent del de la fig. 6. Els espectres construïts a partir dels acords consonants presenten tonalitats ben determinades, mentre que els espectres basats en les dissonàncies estan molt anivellats de manera que no hi ha diferències notables entre la freqüència relativa de les notes ni per a l'octava del do³ ni per a la del do², malgrat que la tonalitat

de l'octava del do² se sol manifestar molt clarament. Per tant, és justament la gran proporció d'espectres originals dissonants el que porta al caràcter poc clar de l'espectre de freqüència. Aquesta conclusió es confirma amb el fet que el tram Trans-Pacífic, que posseeix la menor proporció de dissonàncies, mostra els espectres de freqüència amb la tonalitat més ben definida.

Hi ha un altre aspecte interessant que es troba comparant les figures 6 i 7. Com es veu a la fig. 6, una reducció en la grandària mostral, fins i tot en un ordre de magnitud (en l'estació núm. 3495), no mena a canvis estructurals dels espectres i, al contrari, els fa més marcats. Al mateix temps, l'exclusió de les consonàncies (fig. 7) porta a una completa destrucció de l'estructura, malgrat que es manté més del 30% del mostreig original (taula 1). Això implica que els acords dissonants es distribueixen al llarg de l'escala de manera arbitrària i poden ser considerats soroll respecte als acords consonants. Aquests no tan sols estan disposats harmoniosament (proporcionalment), sinó que junts constitueixen un nivell superior d'organització que correspon a una tonalitat específica.

Com a cloenda d'aquest apartat donarem dos exemples de la música ecològica revelada per nosaltres. El primer exemple presenta el transsecte horitzontal de totes les estacions del tram peruà (vegeu la fig. 4) per a l'horitzó 0 metres. La seqüència d'acords va de la costa al mar obert. Cada pulsació correspon a dues milles. Segons la distància entre les estacions núms. 3497 i 3455 l'interval entre els últims acords no hauria d'ésser una, sinó tres pulsacions. Així, el transsecte del tram peruà és:



Donarem ara el transsecte vertical de l'estació núm. 3450 del tram Trans-Pacífic (vegeu la fig. 3). Aquí la seqüència dels acords correspon a la direcció de la superfície fins a l'horitzó dels 200

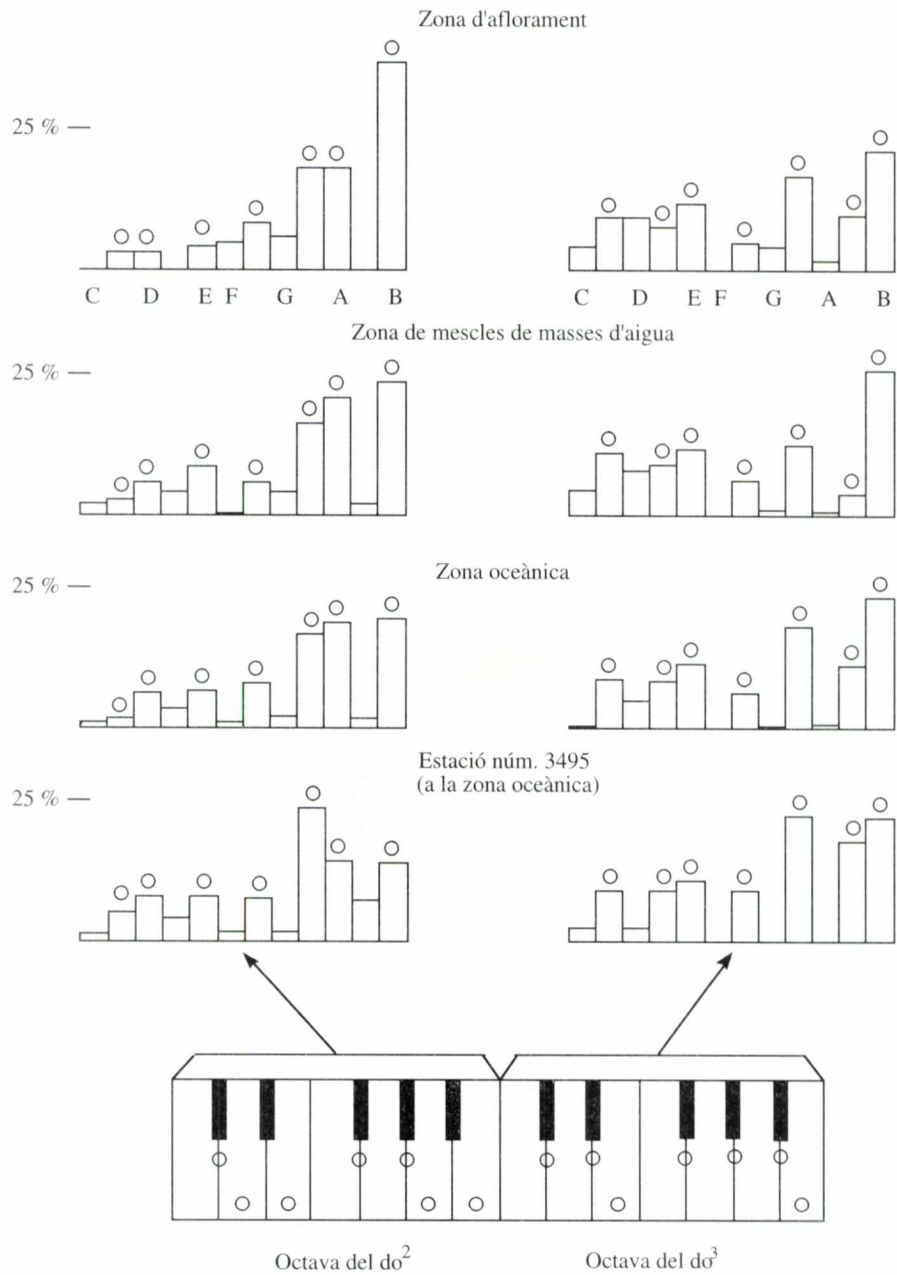


FIGURA 6. Espectres fins de freqüències de grandis per a diferents zones de la regió peruana. L'octava que comença en el do^2 és a l'esquerra, la que comença en el do^3 és a la dreta. A l'eix de les x , les notes de l'escala musical; al de les y , freqüències relatives (en %). Els cercles marquen les notes de la corresponent tonalitat.

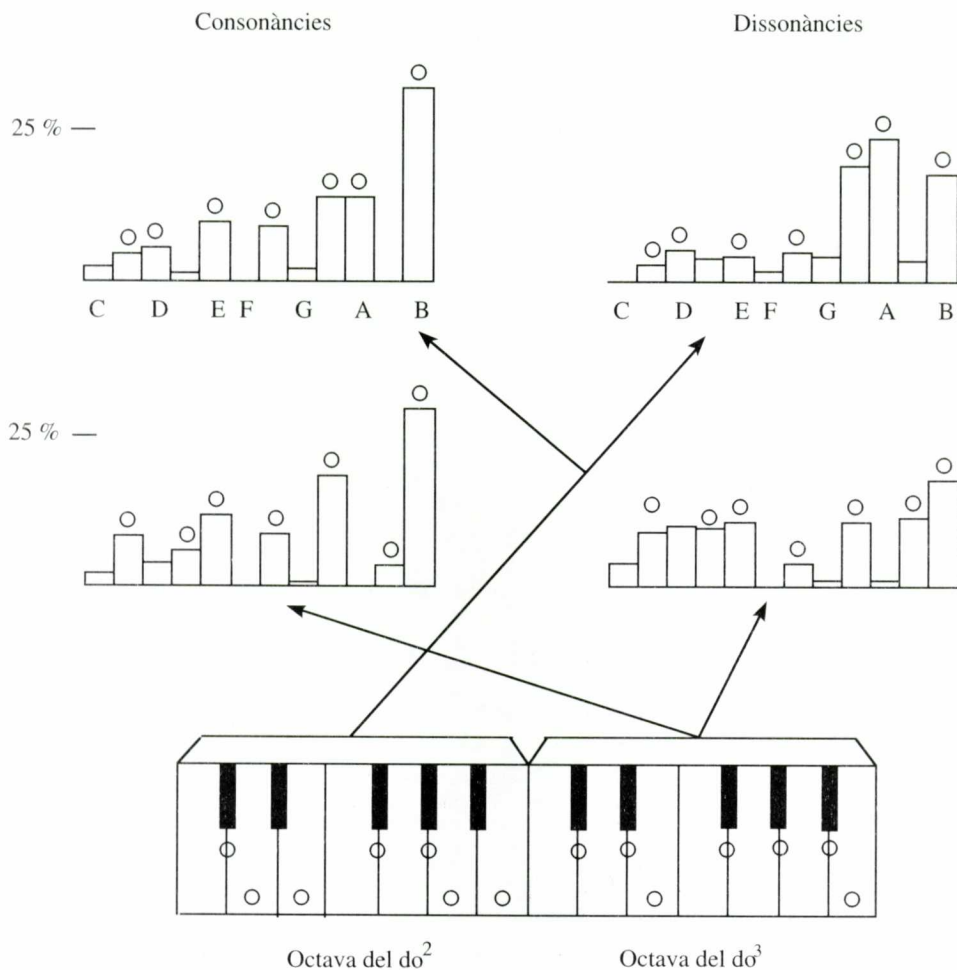


Figura 7. Espectres fins de freqüències de grandàries per a mostres de la regió peruana els espectres originals de les quals corresponien a acords consonants (esquerra) i dissonants (dreta). A l'eix de les *x*, les notes de l'escala musical; al de les *y*, freqüències relatives (en %). Els cercles marquen les notes de la corresponent tonalitat.

m, i una pulsació equival a 40 m en vertical.



No cal dir que els exemples precedents no demostren totes les possibilitats de la *música ecològica*. A més, des d'un punt de vista musical

la nostra aplicació d'aquest mètode no és gaire reeixida, ja que l'estructura rítmica dels transectes que hem donat no és determinada per les propietats intrínseques dels sistemes ecològics, sinó pels intervals amb què s'han pres les estacions (en horitzontal) o els horitzons (en vertical). Aquesta mancança es pot evitar estudiant, per exemple, els fenòmens estacionals en els ecosistemes pelàgics. Quan es prenen

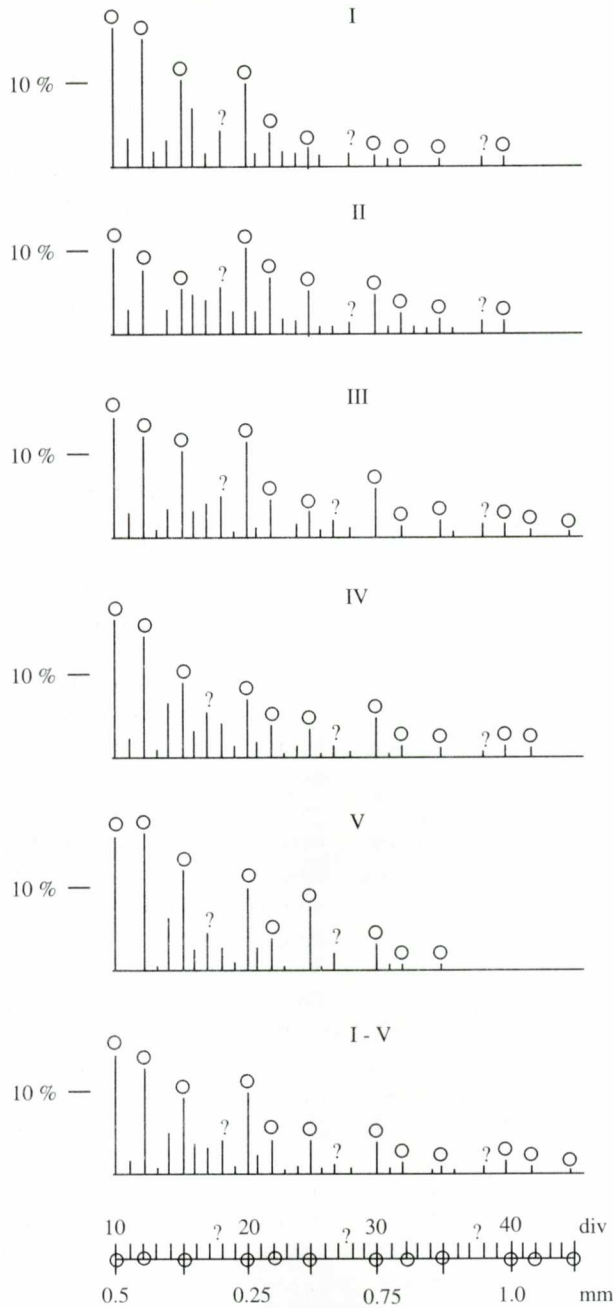


Figura 8. Espectres fins de freqüència en escala lineal, amb un interval de mesura de 0.025 mm, per a les diferents regions del Pacífic i per a la mitjana de totes cinc. A l'eix de les x, mil·límetres (a baix) i punts del micròmetre ocular (a dalt). Al de les y, freqüències relatives en %. Els cercles marquen els pics evidents; ? indica pics dubtosos.

podem estar segurs de l'existència d'aquest pic, ja que fins i tot és pràcticament indistingible en l'espectre global (fig. 8, a baix).

La periodicitat amb tres pics es veu força clarament a la fig. 8. Es interessant que correspongui a la relació doble del *wurf* d'or. Dit d'una altra manera, si cada període és considerat com un bloc trinomial i es calcula el seu *wurf* segons l'equació II (per exemple, per al segon període, $A = 20$, $B = 22$, $C = 25$ i $D = 30$), trobem el valor 1,33, que difereix del *wurf* d'or només un 1,8 % (1.309). Tenint en compte la precisió amb què es feren les mesures de les longituds dels individus (una unitat del micròmetre ocular, és a dir, per al segon període, d'un 3 a un 5%), hom pot considerar sorprenent la coincidència.

El marcat descens de l'amplitud absoluta dels pics d'esquerra a dreta (fig. 8) té a veure amb el descens general del nombre d'individus en la mateixa direcció, i, per tant, la probabilitat de considerar les longituds grans en els espectres originals és menor a causa del criteri del 50 %.

Així, el nostre intent d'explicar el mecanisme subjacent a la disposició dels acords consonants (corresponents als espectres logarítmics originals de mostres úniques) en tonalitats majors mitjançant l'anàlisi d'espectres de grandària més fins (amb unitats de mesura discretes) ha conduït a un resultat força paradoxal: la periodicitat logarítmica dels espectres de grandària, que es manifestava en la retenció de les tonalitats després d'una transposició (superposició) d'algunes octaves, ha resultat ser un efecte de la periodicitat dels espectres de grandària en l'escala lineal.

L'existència simultània de periodicitat lineal i logarítmica pressuposa un alt grau de concordància, tant de períodes com de pics, en ambdues escales. Aquest fet, al seu torn, demostra que no tan sols les comunitats de mesoplàncton tenen forma, sinó també que aquesta forma no permet desviacions importants. Les restriccions que s'imposen a la forma per la coexistència de periodicitats lineals i logarítmiques són tan estrictes que hom no es pot sorprendre gaire per la igualtat de les formes de les comunitats

procedents de diverses regions del Pacífic, les quals presenten condicions hidrològiques molt diferents i composicions taxonòmiques també molt diverses. El que és de debò sorprenent és la pròpia coexistència d'aquestes dues menes de periodicitat.

En aquests moments, hauria de ser possible fer alguns suggeriments molt generals sobre aquest tema. La periodicitat logarítmica amb coeficient 2 pot estar associada amb les baules successives de les cadenes tròfiques. La mida del depredador, com ja indicaren R. W. Sheldon *et al.* (1972) i S. R. Kerr (1974), normalment depassa la mida de la presa en una certa proporció, la qual cosa porta al creixement exponencial de les grandàries dels individus al llarg de les cadenes tròfiques. Tanmateix, el quocient d'aquestes grandàries és habitualment superior a dos (fins i tot per a la longitud), cosa que ens fa considerar la periodicitat logarítmica observada com un resultat de la superposició de diverses cadenes tròfiques amb un desplaçament de fase, que formen en conjunt una xarxa tròfica. És possible que l'estructura de grandàries dins de cada període reflecteixi el salt entre els nínxols tròfics dels individus planctònics que es troben en posicions adjacents de les xarxes tròfiques. Si aquestes hipòtesis són certes, la pròpia presència d'una periodicitat logarítmica és una prova del caràcter isomòrfic de l'estructura, formada per nínxols tròfics tant en diferents nivells de la xarxa com per a cadenes tròfiques amb un desplaçament de fase.

En aquest punt és interessant tornar als resultats obtinguts per L. L. Cislenko (1981) i presentats a la fig. 2, on hom veu clarament la periodicitat logarítmica, però amb altres períodes. En l'escala logarítmica decimal adoptada per Cislenko, els períodes són 0,5 i un múltiple seu: 1,5. Aquest últim període correspon a una diferència de trenta-dues vegades en grandària lineal, i Cislenko l'associa amb l'estructura tròfica dels ecosistemes pelàgics. La seqüència de grups ecològics, les modes dels quals estan situades a l'eix de grandàries amb aquesta periodicitat és anomenada la seqüència principal

(Cislenko, 1981). «Els grups de grandària de la seqüència principal», escriu Cislenko (1981, pàgina 143), «són els nivells tròfics generalitzats de les poblacions pelàgiques dels oceans; cada nivell previ és la principal font de subsistència per al següent».

El període identificat en l'escala dels logaritmes decimals és 0,3, del qual el període 1,5 també és múltiple. A més és el mínim comú múltiple del nostre període i del menor dels determinats per Cislenko (0,5). Per tant, si considerem aquest últim període, segons Cislenko, com el reflex d'algunes regularitats taxonòmiques, llavors el període 0,3 hauria de ser relacionat, en plena concordança amb la suposició feta anteriorment, amb els elements de l'estructura tròfica, però significativament més fi que els elements de la seqüència principal de Cislenko. Llavors el període 1,5 combinaria l'estructura taxonòmica (darrere de la qual hi ha només l'evolució) i l'estructura tròfica de la població pelàgica. Per això Cislenko anomena la seqüència principal «l'autopista de l'evolució progressiva».

Pel que fa a la periodicitat lineal, pot reflectir processos de creixement dels individus pertanyents a cohorts isolades del zooplàncton, i tals processos en la seva fase activa s'aproximen prou bé a dependències lineals del temps. En aquest cas, l'estructura dels espectres fins de grandària en l'escala lineal es pot interpretar com una superposició d'estructures d'edat de poblacions separades pertanyents a una comunitat. Aquesta hipòtesi troba suport en la bona correspondència entre els pics de les estructures fines de grandària en l'escala lineal i les llargades de les fases nauplials i copepoditals dels copèpodes que constitueixen la major part del mesoplàncton. La periodicitat dels espectres lineals de grandària es pot explicar pel fet que les sèries dimensionals dels estadis successius de diferents espècies estan desplaçats entre ells i al mateix temps s'hi troben repetides les principals propietats.

Com a resultat, la coexistència de les periodicitats lineal i logarítmica és un efecte

directe de l'existència paral·lela de l'estructura tròfica de la comunitat i de l'estructura d'edats de les poblacions que constitueixen la comunitat. Aquests dos tipus d'estructura, així com els dos tipus de periodicitat descoberts, són incompatibles en un cas general i per tant requereixen un *ajust* precís entre ells. Tanmateix aquest *ajust* implica la disponibilitat d'una arquitectura processada fina en la biocenosi i, per tant, en l'ecosistema, començant amb elements individuals, fins a una forma comuna expressada en la seqüència principal de Cislenko.

La presència d'una arquitectura semblant en els ecosistemes pelàgics no deixa cap dubte sobre la seva integritat. El mateix Cislenko dóna suport al sorprenent fet esmentat abans que l'estructura fina de grandària de la comunitat de mesoplàncton està molt més finament detallada que les estructures de grandària de les espècies que formen la comunitat. En altres paraules, la variabilitat de les grandàries dels individus d'una espècie donada (certament, dins del marc de la successió d'estadis del desenvolupament) que formen part d'un ecosistema concret és significativament menor que la variabilitat comuna característica de la mateixa espècie a causa de les seves peculiaritats genètiques. Una reducció similar de la variabilitat (estretiment de la norma de reacció) com a resultat de la formació d'un cert ecosistema es pot explicar només per una determinació a partir de l'ecosistema, del tot relatiu als seus elements, és a dir, per una determinació que fou establerta per nosaltres com a omnicausal (Mikhajlovskij, 1988).

AGRAÏMENTS

L'autor està profundament agraït al membre corresponent de l'*Acadèmia de les Ciències*, Prof. M. E. Vinogradov, les discussions del qual sobre la recerca en curs foren molt útils, a la Dra. E. A. Suskina, qui forní amablement les dades inicials per a l'anàlisi.

BIBLIOGRAFIA

- BAILEY-WATTS, A. E. (1986). «Seasonal Variation in Size Spectra of Phytoplankton Assemblages in Loch Leven». *Hydrobiologia*, núm. 138, p. 25-42. Scotland.
- BARTUSKA, T. J.; G. YOUNG (1975). «Aesthetics and Ecology: Notes on the Circle and the Sphere». *Journal of Aesthetics Education*, núm. 9, p. 78-91.
- BEKLEMYSHEV, V. N. (1964). *The Basis of Comparative Anatomy of Invertebrates*, vol. I. Moscow: Nauka. [En rus]
- CHISLENKO, L. L. (1981). *The Structure of Fauna and Flora in Connection with the Size of Organisms*. Moscow: Moscow State University Press. [En rus]
- FRÖHLICH, F. (1976). «Global Aesthetics: Life on Earth as Art». *Achter International Kongress Aesthetic*, p. 25-26. Darmstadt.
- GHYKA, M. C. (1927). *Esthétique des Proportions dans la Nature et dans l'Art*. Paris.
- HAECKEL, E. (1899-1904). «Kunst-Formen der Natur». Lfg. 1-11. Bibliogr. Inst., Leipzig-Wien.
- HAMBIDGE, G. (1932). *Practical Application of Dynamic Symmetry*. New Haven.
- HUTCHINSON, G. E. (1963). «The Naturalist as an Art Critic». *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, núm. 115, p. 99-111.
- KERR, S. R. (1974). «Theory of Size Distribution in Ecological Communities». *Journal of Fisheries Research Bd. Can.*, núm. 31, p. 1859-1862.
- KOSOBOKOVA, K. N.; N. N. PERTSOVA (1990). «Biology of Arctic Copepoda *Calanus glacialis* in the White Sea» a Biological Monitoring in Coastal Waters of the White Sea (G. E. Mikhajlovskij, ed.). Publications of the Institute of Oceanology. Academy of Sciences, Moscow. [En rus]
- LUBYSCHYEV, A. A. (1982). *The Problems of Forms, Systematics and Evolution of Organisms*. Moscow: Nauka. [En rus]
- MARGALEF, R. (1957). «La teoría de la información en ecoogía». *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes*, Barcelona, núm. 32, p. 373-449.
- MIKHAILOVSKIJ, G. E. (1988). *The Description and Evaluation of Plankton Communities States*. Moscow: Nauka.
- PATTERSON, F. (1979). *Photography and the Art of Seeing*. Toronto: Van Nostrand Reinhold Ltd.
- PERTSOVA, N. M. (1967). «Average Weights and Sizes of Mass Species of Zooplankton in the White Sea». *Oceanology*, núm. 7, p. 309-313. [En rus]
- PETUKHOV, S. V. (1988). «The Superior Symmetries, Transformations and Invariants in the Biological Objects». *System. Symmetry. Harmony*. Yu. A. Urmantsev, eds., p. 260-274. Mysl, Moscow. [En rus]
- PRIGOGINE, I.; I. STENGERS (1984). *Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature*. London: Heinemann.
- RODRIGUES, J.; M. M. MULLIN (1986). «Diel and Interannual Variation of Size Distribution of Oceanic Zooplankton Biomass». *Ecology*, núm. 67, p. 215-222.
- ROLSTON, H. (III) (1986). «Beauty and the Beast: Aesthetic Experience of Wildlife». *Valuing Wildlife Resources*, Ch. 17. D. J. Decker i G. R. Goff, eds., Westview Press, Boulder, Co.
- SEPÄNMAA, Yr. (1986). *The Beauty of Environment (A general model for environmental aesthetics)*. Helsinki: Suomalainen Tiedeakatemia.
- SHELDON, R. W., A. PRAKASH; W. H. SUTCLIFFE (1972). «The Size Distribution of Particles in the Ocean». *Limnology and Oceanography*, núm. 17, p. 327-340.
- TUNNARD, Ch. (1978). *A World With a View (An Inquiry into the Nature of Scenic Values)*. New Haven-London: Yale University Press.
- VERNADSKY, V. (1929). *La Biosphère*. Paris.
- VINOGRADOV, M. E.; E. A. SHUSHKINA (1978). «Some Development Patterns of Plankton Communities in the Upwelling Areas of the Pacific Ocean». *Marine Biology*, núm. 48, p. 357-366.