


CUPRIND MULȚIMI

Libris .RO

Respect pentru oameni și cărți

CUPRIND MULȚIMI



**MILIARDELE DE
MICROBI DIN NOI
ȘI FELUL ÎN CARE NE
MODELEAZĂ VIAȚA**

ED YONG

Traducere din engleză de **Constantin Vlad**

COLECTIA
DE ȘTIINȚĂ

PUBLICA

Titlul original al acestei cărți este *I Contain Multitudes: The Microbes Within Us and a Grander View of Life* de Ed Yong.

Copyright © Ed Yong 2016

© Publica, 2017, pentru ediția în limba română

Toate drepturile rezervate. Nicio parte din această carte nu poate fi reprodusă sau difuzată în orice formă sau prin orice mijloace, scris, foto sau video, exceptând cazul unor scurte citate sau recenzii, fără acordul scris din partea editorului.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
YOUNG, ED

Cuprind mulțimi : miliardele de microbi din noi și felul în care ne modelează viața / de Ed Yong ; trad. din engleză de Constantin Vlad. - București : Publica, 2017

Conține bibliografie
ISBN 978-606-722-259-3

I. Vlad, Constantin (trad.)

57

EDITORI: Cătălin Muraru, Silviu Dragomir

DIRECTOR EXECUTIV: Bogdan Ungureanu

DESIGN: Alexe Popescu

REDACTOR: Tudorița Șoldănescu

CORECTORI: Paula Rotaru, Elena Bițu

DTP: Răzvan Nasea

Pentru mama

Libris .RO

Respect pentru oameni și cărți

Prolog: o vizită la grădina zoologică	9
1. Insule vii	17
2. Oamenii care s-au gândit să privească	43
3. Constructorii de trupuri	71
4. Sub incidența termenilor și condițiilor	109
5. La bună și la rea sănătate	143
6. Un vals străvechi	195
7. Succes reciproc garantat	223
8. Allegro în Mi Major	255
9. Microbi à la carte	281
10. Mâine, lumea	331
Mulțumiri	349
Lista ilustrațiilor	355
Note	359
Bibliografie	408

P

Prolog: o vizită la grădina zoologică

Baba nu clipește. Este complet placid față de mulțimea de copii surescitați care s-a adunat în jurul lui. Nu este perturbat nici de canicula verii californiene. Nu-l deranjează tamponanele de bumbac care-i mângâie fața, corpul și lăbuțele. E firesc să fie nonșalant, dat fiind că trăiește în siguranță și răsfăț. Trăiește în Grădina Zoologică din San Diego, poartă o armură impenetrabilă și în această clipă atârnă agățat de centura unui îngrijitor. Baba este un pangolin cu burtă albă – un animal drăgălaș care arată ca o încrucișare între un furnicar și un con de brad. E cam cât o pisică mică. Ochii lui negri au un aer jalnic și firele de păr care-i încadrează obrazul arată ca niște favoriți răzvrățiți. Fețișoara sa rozalie se termină într-un bot fără dinți, special adaptat pentru îngurgitarea de furnici și termite. Picioarele din față, mici și îndesate, au la capete gheruțe lungi și curbate cu care se agață de copaci și sapă în cuiburi de insecte, corpul terminându-i-se cu o codiță lungă cu care atârnă de ramurile copacilor (sau de îngrijitorii zoo prietenoși).

Dar cea mai distinctivă trăsătură a sa ar fi, de departe, solzii. Capul, corpul, membrele și coada sunt acoperite de ei – mici discuri suprapuse, de un oranj-pal, care formează un strat protector extrem de dur și care sunt alcătuite din același material ca și unghiile voastre, cheratină. Și, pe bune, chiar arată și se simt ca o mulțime de unghii suprapuse, chiar dacă supradimensionate, date cu ojă și tocite rău. Solzii, deși se mișcă flexibil, sunt ferm prinși pe corp, așa că se ridică și coboară pe măsură ce-i trec mâna pe spinare. Dacă l-aș mângâia în sens opus, probabil că m-aș tăia – mulți solzi sunt ascuțiți ca o lamă de ras. Neprotejate sunt doar fața, pânțelele și lăbuțele lui Baba, pe care, dacă ar vrea sau ar fi nevoie, le-ar putea apăra făcându-se ghem. Asta-i și abilitatea care dă numele speciei sale: pangolin se trage din cuvântul malaysian *pengguling*, care înseamnă „ceva care se face sul”.

Baba este unul dintre animalele-ambasador ale grădini zoologice – creaturi excepțional de docile și de bine dresate care iau parte la activitățile dedicate publicului larg. Îngrijitorii îi duc frecvent în aziluri de bătrâni și în spitale de copii pentru a mai însenina zilele oamenilor în suferință și pentru a le prezenta animale neobișnuite. Dar astăzi e ziua lui liberă. Șade atârnat de centura îngrijitorului său, precum cel mai ciudat brâu din lume, în timp ce Rob Knight îi freacă ușor un tampon de bumbac pe față. „Aceasta este una dintre speciile care m-au fascinat din copilărie – prin simplul fapt că așa ceva poate să existe”, spune el.

Knight, un neozelandez înalt, subțirel și tuns scurt, este un savant al lumii microscopice, un cunoscător al invizibilului. Studiază bacterii și alte organisme microscopice – microbi – și este fermecat îndeosebi de cele care trăiesc în interiorul sau în exteriorul organismelor animalelor. Pentru a le studia, trebuie mai întâi să le colecteze. Colecționarii

de fluturi folosesc plase și borcane; unealta preferată a lui Knight este tamponul de bumbac. Apucă unul mic și îl freacă de nasul lui Baba vreo două secunde, suficient cât să-l infuzeze cu bacteriile pangolinului. Mii, dacă nu milioane, de celule microscopice sunt acum prinse în vălătucul alb. Knight se poartă delicat, pentru a nu deranja pangolinul. Baba n-ar fi putut părea mai puțin deranjat nici dacă s-ar fi străduit. Am senzația că, dacă o bombă ar fi explodat lângă el, singura sa reacție ar fi fost să se foiască un pic.

Baba nu este doar un pangolin. Este și o masă colcăitoare de microbi. Unii dintre aceștia trăiesc în interiorul lui, preponderent în intestine. Alții trăiesc la suprafață, pe cap, pe abdomen, pe lăbuțe, pe gheare și pe solzi. Knight tamponează pe rând fiecare dintre aceste locuri. Și-a tamponat și toate părțile corpului său cel puțin o dată, întrucât și el găzduiește propria-i comunitate de microbi. La fel și eu. La fel și fiecare fiară din grădina zoologică. La fel și fiecare creatură de pe planetă, cu excepția câtorva animale de laborator create special de cercetători să fie sterile.

Cu toții posedăm o foarte bogată „menajerie” microscopică, numită generic *microbiotă* sau *microbiom*.¹ Aceste organisme trăiesc la suprafața corpului, în interiorul lui și uneori chiar în interiorul celulelor noastre. Majoritatea sunt bacterii, dar și alte mici vietăți incluzând fungii (cum ar fi drojdiile) și archaea, un grup misterios cu care vom face cunoștință mai târziu. Există, de asemenea, și virusuri, într-un număr greu de imaginat – un *virom* care infectează toți ceilalți microbi și, ocazional, celulele gazdei. Cu ochiul liber nu putem vedea nicio astfel de vietate minusculă. Dar, dacă ar fi ca toate celulele unui organism să dispară în mod misterios, ar fi probabil detectabile ca o fantomatică licărire microbială, conturând un nucleu animal de-acum dispărut.²

În unele cazuri, celulele lipsă ar fi greu observabile. Bureții se numără printre cele mai simple organisme animale, cu corpuri statice având grosimi de numai câteva celule, dar și ei găzduiesc un microbiom prosper.³ Uneori, dacă privești un burete la microscop, abia dacă poți vedea animalul de microbii care-l acoperă. Încă și mai simplele nevertebrate placozoa sunt puțin mai mult decât banale petice zemoase de celule; arată ca amibe, dar sunt animale ca noi – și evident că au parteneri microbieni. Furnicile trăiesc în colonii de ordinul milioanei de membri, dar fiecare furnică este o colonie în sine. Chiar și un urs polar care străbate solitar Arctica, înconjurat numai de gheață, este acoperit de microbi. Gâștele indiene poartă microbii peste Himalaya, în timp ce elefanții de mare îi transportă prin adâncimile oceanelor. Când Neil Armstrong a pășit pe Lună, el a făcut un salt gigantic și pentru mediul microbial.

Orson Welles a spus că „ne naștem singuri, trăim singuri, murim singuri”; se înșela. Nu suntem niciodată singuri – nici când suntem pe deplin singuri. Ființăm în simbioză – un termen minunat care descrie organisme diferite trăind împreună. Unele animale sunt colonizate de microbi încă din stadiul de ouă nefecundate; altele capătă primii parteneri în momentul nașterii. Apoi continuăm să ne trăim viața în compania lor. Când mâncăm, mâncăm și ei. Când călătorim, vin și ei cu noi. Când murim, ne consumă rămășițele. Fiecare dintre noi este o grădină zoologică în toată puterea cuvântului – o colonie încapsulată într-un singur corp. Un colectiv de specii. O lume întreagă.

Astfel de concepte pot fi greu de înțeles, nu în ultimul rând, pentru că noi, oamenii, suntem o specie globală. Răspândirea noastră nu are limite. Ne-am strecurat în fiecare colțișor al planetei albastre, iar unii dintre noi chiar au părăsit-o. Poate

fi ciudat să ne gândim la existențele care se derulează în intestinele noastre ori într-o singură celulă, sau să considerăm că diferitele noastre organe ar fi peisaje dinamice. Și totuși asta sunt, categoric. Pământul conține o largă varietate de ecosisteme diferite: păduri tropicale, savane, recifuri de corali, deșerturi, mlaștini sărate, fiecare având propria comunitate de specii. Dar până și un singur animal este plin de ecosisteme. Pielea, gura, intestinele, organele genitale și orice organ care-l conectează cu exteriorul au fiecare o comunitate de microbi specifică.⁴ Toate noțiunile folosite de ecologiști pentru a descrie ecosistemele la scară continentală pe care le observăm prin satelit se aplică și ecosistemelor din corpurile noastre, observabile la microscop. Putem vorbi despre diversitatea speciilor de microbi. Putem schița lanțuri trofice în care diferite microorganisme se consumă și se hrănesc unele pe altele. Putem izola microbi cruciali care exercită o influență disproporționată asupra mediului lor – echivalente cu vidrele de mare sau cu lupii. Putem trata microbii cauzatori de boli – patogeneii – ca pe creaturi invadatoare precum broaștele râioase sau furnicile de foc. Putem compara intestinele unei persoane care suferă de inflamarea colonului cu un recif de corali muribund sau cu un ogor lăsat în paragină: un ecosistem deteriorat în care echilibrul organismelor componente a fost perturbat.

Aceste similarități sugerează că, în clipa în care ne uităm la o furnică, la un burete sau la un șoarece, ne vedem totodată și pe noi înșine. Microbii lor pot fi diferiți de ai noștri, dar alianțele noastre sunt guvernate de aceleași principii. Un calmă cu bacterii luminoase care strălucesc numai noaptea ne poate spune ceva despre sușurile și coborâșurile bacteriilor din intestinele noastre. Un recif de corali ai cărui microbi o iau razna din cauza poluării sau pescuitului excesiv seamănă

cu harababura produsă în intestinalele noastre când înghițim mâncăruri nesănătoase sau antibiotice. Un șoarece al cărui comportament se modifică sub influența microbilor intestinali ne poate arăta ceva despre tentaculele influenței pe care companionii noștri o insinuează în mințile noastre. Prin microbi găsim unitatea cu toate celelalte creaturi, în pofida vieților noastre incredibil de diferite. Niciuna dintre aceste vieți nu este trăită în izolare; ele există întotdeauna într-un context microbial și implică negocieri constante între specii mici și mari. Microbii se deplasează și între animale, între corpurile noastre și soluri, apă, clădiri și alte medii. Ei ne conectează între noi și cu întreaga lume.

Zoologia în ansamblu este, de fapt, ecologie. Nu putem înțelege deplin viața animală fără a ne înțelege microbii și simbioza cu ei. Și nu ne putem aprecia pe deplin microbiourile proprii fără a aprecia felul în care cele ale speciilor care ne întovărășesc le îmbogățesc și le influențează viața. Ar trebui să lărgim lentilele pentru a privi în ansamblu întregul regn animal, apoi să focalizăm pentru a vedea ecosistemele ascunse care există în fiecare creatură. Când ne uităm la cărăbuși și elefanți, la scoici și râme, la părinți și prieteni, vedem indivizi croindu-și calea prin viață ca o adunătură de celule într-un singur corp, antrenați de un singur creier și operând cu un singur genom. Dar asta-i doar o ficțiune plăcută. De fapt, suntem mulțimi, cu toții. Întotdeauna „noi” și niciodată „eu”. Uitați de Orson Welles și urmați-l pe Walt Whitman: „Sunt mare, cuprind mulțimi”.⁵





Pământul are vârsta de 4,54 miliarde de ani. O asemenea întindere de timp este prea stupefiantă pentru a putea fi înțeleasă, deci haideți să reducem întreaga istorie a planetei la un singur an calendaristic¹. Acum, în timp ce citiți această pagină, este 31 decembrie, chiar înainte de miezul nopții. (Din fericire, artificiile au fost inventate acum nouă secunde.) Oamenii există de vreo 30 de minute sau chiar mai puțin. Dinozaurii au stăpânit lumea până în seara zilei de 26 decembrie, când un asteroid a lovit Terra și i-a șters de pe fața Pământului (cu excepția păsărilor). Florile și mamiferele au evoluat un pic mai devreme în cursul aceleiași luni. În noiembrie, plantele invadaseră uscatul și principalele grupuri de animale apăruseră în oceane. Plantele și animalele sunt alcătuite din multe celule, iar organisme multicelulare similare sigur apăruseră până la începutul lunii octombrie. Se poate să fi apărut și mai devreme de-atât – fosilele sunt ambigue și deschise interpretărilor – însă ar fi fost rarități. Înainte de octombrie, aproape toate vietățile de pe planetă erau celule singulare. Ar fi fost invizibile cu ochiul liber, dacă ar fi existat ochi. Și erau așa încă de când a apărut viața pentru prima oară, cândva prin martie.

ED YONG Dați-mi voie să subliniez: toate organismele vizibile cu care suntem obișnuiți, tot ceea ce ne vine în minte când ne gândim la „natură” au intrat târziu în povestea vieții. Sunt parte a ultimului capitol. În cea mai mare parte a poveștii, microbii au fost singurele vietăți de pe Pământ. Ei au dominat planeta din martie până în octombrie, în calendarul nostru imaginar.

În acea perioadă, au și transformat-o ireversibil. Bacteriile îmbogățesc solul și descompun substanțele poluante. Ele antrenează ciclurile planetare ale carbonului, azotului, sulfului și fosforului, convertind aceste elemente în compuși care pot fi folosiți de animale și de plante, care apoi le redau naturii prin descompunerea macroorganismelor. Ele au fost primele vietăți care și-au fabricat singure hrana prin valorificarea energiei solare într-un proces numit fotosinteză. Ele au eliberat oxigen ca reziduu și au pompat atât de mult din acest gaz, încât au schimbat permanent atmosfera planetară. Grație lor trăim într-o lume oxigenată. Chiar și în prezent, bacteriile fotosintetice din oceane produc jumătate din oxigenul pe care îl inhalăm, captând totodată o cantitate egală de dioxid de carbon². Se spune că acum trăim în Antropocen: o perioadă geologică definită de impactul enorm pe care l-au avut oamenii asupra planetei. La fel de bine se poate spune că trăim încă în microbiocen: o perioadă care a început încă din zorii vieții și care va continua până la sfârșitul ei.

Microbiul sunt peste tot, realmente. Trăiesc în apele celor mai adânci gropi oceanice și în rocile de sub noi. Dăinuie pe lângă cratere geotermale, în izvoare fierbinți și în gheața antarctică. Pot fi găsiți chiar și în nori, unde acționează ca „semințe” pentru ploii și ninsorii. Ființează în numere astronomice. De fapt, chiar depășesc numerele astronomice: fiecare dintre noi poartă în intestine mai multe bacterii decât sunt stele în Calea Lactee³.

Aceasta este lumea din care se trag animalele, una acoperită și transformată de microbi. Cum spunea cândva paleontologul Andrew Knoll, „or fi animalele crema evoluției, dar bacteriile sunt de fapt tortul”.⁴ Ele au făcut dintotdeauna parte din ecologia noastră. Am evoluat alături de ele. De asemenea, am evoluat *din* ele. Animalele aparțin unui grup de organisme numit *eucariote*, care mai include toate plantele, fungii și algele. În pofida diversității noastre evidente, toate eucariotele sunt alcătuite din celule care împărtășesc aceeași arhitectură de bază, care le deosebește de alte forme de viață. Aproape tot ADN-ul lor este concentrat într-un nucleu central, structură care dă numele grupului: „eucariote” se trage din termenul grecesc pentru „miez format ușor”. Au un „schelet” intern care asigură sprijin structural și transportul moleculelor dintr-un loc într-altul. Și au mitocondrii – „microcentrale” care asigură energia celulelor.

Toate eucariotele au în comun aceste caracteristici, întrucât cu toții am evoluat dintr-un strămoș comun, acum aproximativ două miliarde de ani. Înainte de acel moment, viața pe Pământ putea fi împărțită în două tabere sau *domenii*: bacteriile, despre care știm deja, și archaea, care sunt mai puțin cunoscute și au o afinitate pentru colonizarea mediilor neospitaliere și extreme. Ambele domenii sunt populate de organisme unicelulare cărora le lipsește complexitatea eucariotelor. Nu au schelet intern. Nu au nucleu. Nu au mitocondrii dătătoare de energie. Privite superficial, par să fie similare, motiv pentru care cercetătorii au considerat inițial că archaea *sunt* bacterii. Însă aparențele sunt înșelătoare; archaea au o biochimie la fel de diferită de cea a bacteriilor cum este cea a PC-urilor de cea a Mac-urilor în materie de sisteme de operare.

În primele aproximativ 2,5 miliarde de ani ale vieții pe Pământ, bacteriile și archaea au urmat cursuri evolutive

ED YONG
preponderent separate. Apoi, printr-o întâmplare unică și hotărâtoare, o bacterie a fuzionat cumva cu o archaea, pierzându-și independența și devenind veșnic captivă în noua sa gazdă. Așa consideră mulți oameni de știință că au luat naștere eucariotele. Este povestea creației noastre: două domenii mari ale vieții unindu-se pentru a crea un al treilea, în cea mai importantă simbioză a tuturor timpurilor. Archaea a oferit „șasiul” celulei eucariote, în timp ce bacteria s-a transformat în cele din urmă în mitocondrie.⁵

Toate eucariotele descind din acea uniune decisivă. Este motivul pentru care genomurile noastre conțin multe gene care încă au trăsături tipice grupei archaea și altele care seamănă mai degrabă cu cele ale bacteriilor. Este și motivul pentru care toți avem mitocondrii în celule. Aceste bacterii domesticite au schimbat totul. Prin asigurarea unei surse energetice suplimentare, ele au îngăduit eucariotelor să crească mai mari, să acumuleze mai multe gene și să devină mai complexe. Asta explică ceea ce biochimistul Nick Lane numește „gaura neagră din centrul biologiei”. Între celulele simple ale archaea și ale bacteriilor și cele mai complexe ale eucariotelor există un vid uriaș, iar viața a reușit să-l traverseze exact o dată în patru miliarde de ani. De atunci, nenumăratele bacterii și archaea ale planetei, toate evoluând la viteze amețitoare, nu au mai reușit să producă o eucariotă. Cum se poate așa ceva? Alte structuri complexe, de la ochi și exodermă până la organisme pluricelulare, au evoluat în mai multe ocazii independente, însă celula eucariotă a rămas o invenție unică. Asta deoarece, susțin Lane și alți cercetători, fuziunea care a creat-o – cea dintre o archaea și o bacterie – era atât de uluitor de improbabilă, încât nu a mai fost reprodusă niciodată, cel puțin niciodată cu succes. Prin făurirea uniunii lor, cei doi microbi au sfidat șansele

potrivnice și au permis existența tuturor animalelor, plantelor și celorlalte vietăți vizibile cu ochiul liber – și a tuturor vietăților cu ochi, la o adică. Ele sunt motivul pentru care eu exist și scriu această carte, iar voi existați și o citiți. În calendarul nostru imaginar, această fuziune s-a produs cândva pe la mijlocul lui iulie. Cartea de față este despre ce s-a întâmplat ulterior.

După apariția eucariotelor, unele dintre ele au început să se adune și să coopereze, dând naștere organismelor pluricelulare precum animalele și plantele. Întâia dată, vietățile au devenit mari – atât de mari încât puteau găzdui în corpurile lor comunități uriașe de bacterii și de alți microbi⁶. Numărarea acestor microbi este dificilă. De obicei, se spune că, la om, există în medie zece celule microbiene pentru fiecare celulă umană, ceea ce duce la rotunjiri aproximative în propriile noastre corpuri. Dar această proporție de 10 la 1, care apare prin cărți, conferințe TED, reviste și practic orice articol științific pe această temă, este o estimare grosieră având la bază un calcul pe genunchi care din păcate s-a înrădăcinat ca fapt⁷. Cele mai recente aproximări sugerează că avem în jur de 30 de trilioane de celule umane și 39 de trilioane de celule microbiene – oarecum jumi-juma. Chiar și aceste valori sunt inexacte, dar nu prea contează: indiferent de socoteală, cuprindem mulțimi.

Dacă am privi pielea cu o lentilă care mărește foarte tare, le-am și vedea: biluțe sferice, bastonașe ca niște cârnăciori și boboțe în formă de virgulă, toate cu mărimi de ordinul milionimilor de metru. Sunt atât de mici încât, în pofida numărului lor uriaș, adunate laolaltă cântăresc doar câteva kilograme. Zece sau chiar mai multe ar încăpea lejer în diametrul unui fir de păr. Un milion ar putea dansa pe vârful unui ac.

Fără acces la un microscop, cei mai mulți dintre noi nu ar putea niciodată să observe direct aceste organisme miniaturale. Observăm numai consecințele, în special pe cele negative. Simțim crampele dureroase ale unui stomac iritat și auzim zgomotul unui strănut incontrollabil. Nu putem vedea cu ochiul liber bacteria *Mycobacteria tuberculosis*, dar putem vedea sputa sângerie a unui bolnav de tuberculoză. *Yersinia pestis*, altă bacterie, este la fel de invizibilă pentru ochiul omului, dar epidemiile de ciumă pe care le cauzează sunt mult prea evidente. Acești microbi cauzatori de boli – patogenii – au traumatizat oamenii încă din zorii istoriei și au lăsat o cicatrice culturală profundă. Majoritatea oamenilor privesc toate bacteriile ca pe germeni: aducători nedorți de boli, care trebuie evitați cu orice preț. În ziare citim frecvent povești de groază despre obiecte de uz curent, de la tastaturi și telefoane mobile până la clanțe, care se dovedesc a fi – vai! – pline de bacterii. Chiar mai multe bacterii decât pe un colac de WC! Cu implicația că acești microbi sunt contaminanți și că prezența lor e un semn de mizerie, de murdărie, de boală iminentă. Un stereotip nedrept. Majoritatea microbilor nu sunt patogeni. Nu ne îmbolnăvesc. Sunt mai puțin de o sută de specii de bacterii care cauzează boli infecțioase la om⁸; spre deosebire de asta, miile de specii de bacterii din intestinale noastre sunt preponderent inofensive. În cel mai rău caz, sunt pasageri sau autostopiști. În cel mai bun caz, sunt părți de neprețuit ale corpului: nu pun în pericol viața, ci dimpotrivă, o protejează. Se comportă ca un organ ascuns, la fel de important ca stomacul sau ca ochii, dar care nu este alcătuit dintr-o singură masă unitară, ci dintr-o învâlmășeală de trilioane de celule individuale.

Microbiomul este infinit mai adaptabil decât oricare dintre părțile cunoscute ale corpului nostru. O celulă umană

are între 20 000 și 25 000 de gene, pe când microbii s-a estimat că ar conține de 500 de ori mai multe⁹. Această bogăție genetică, combinată cu capacitatea lor evolutivă rapidă, îi face virtuozii ai biochimiei, capabili să se adapteze la toate provocările posibile. Ei ne ajută să digerăm hrana, eliberând nutrimente altminteri inaccesibile. Ei descompun toxinele și alte substanțe periculoase. Ei ne protejează de boli invadând microbii mai periculoși sau ucigându-i direct cu chimicale antimicrobiene. Ei produc substanțe care influențează felul în care mirosim. Prezența lor este atât de importantă pentru noi, încât le-am încredințat aspecte surprinzătoare ale vieții noastre. Ei călăuzesc structura corpului omenesc, eliberând molecule și oferind semnale care stabilesc ritmul de creștere a organelor. Ei educă sistemul imunitar și îl învață să deosebească prietenii de dușmani. Ei au un impact major asupra sistemului nervos și probabil influențează comportamentul. Ei contribuie la viețile noastre în feluri multiple și profunde; niciun colțisor al structurii noastre biologice nu rămâne neatins. Dacă-i ignorăm, e ca și cum ne-am privi viețile prin gaura cheii.

Cartea de față va deschide larg această ușă. Vom explora universurile incredibile care există în corpurile noastre. Vom învăța despre originea alianței noastre cu microbii, despre modalitățile contraintuitive prin care ne modelează corpurile și ne creionează traiul de zi cu zi, despre trucurile pe care le putem folosi pentru a-i ține în frâu și pentru a asigura un parteneriat cordial. Vom analiza felul în care în mod neglijent perturbăm aceste parteneriate, punându-ne astfel în pericol sănătatea. Vom vedea cum putem răsturna astfel de situații prin manipularea microbiomului în folosul nostru. Și vom asculta poveștile unor cercetători motivați, entuziaști, care și-au dedicat viața înțelegerii lumii

microbiene, adesea în pofida eșecurilor, a disprețului sau a ignorării arătate muncii lor.

Dar nu ne vom concentra numai asupra oamenilor.¹⁰ Vom vedea cum microbii au înzestrat animalele cu puteri extraordinare, cu șanse evolutive și chiar cu gene de-ale lor. Pupăza, o pasăre cu ciocul ca un vârful de târnăcop și penaj tigrat, își vopsește ouăle cu un fluid bogat în bacterii secretat de o glandă de sub coadă; bacteriile eliberează o substanță antimicrobiană care împiedică microbii mai periculoși să pătrundă în ouă și să vatăme puii. Furnicile tăietoare-de-frunze au corpurile acoperite cu microbi care produc antibiotice, cu care dezinfectează fungii pe care-i cultivă în grădini subterane. Tetrodonul, un pește țepos și gonflabil, folosește bacterii pentru a produce tetrodoxină, o substanță mortală care otrăvește orice prădător care încearcă să-l mănânce. Gândacul de Colorado, o mare năpastă pentru cultivatorii de cartofi, are bacterii în salivă cu care neutralizează mecanismul de apărare al plantei pe care o consumă. Peștele-cardinal zebraț găzduiește bacterii luminescente cu care își atrage prada. Furnica-leu, o insectă prădătoare cu fălci de temut, își paralizează victimele cu toxinele produse de bacteriile din salivă. Unii viermi cilindriciucid insecte expectorând în corpul acestora bacterii luminescente toxice¹¹; alții atacă celulele plantelor și provoacă mari pagube agricole folosind gene furate de la microbi.

Alianțele noastre cu microbii s-au modificat în repetate rânduri de-a lungul evoluției animale și au transformat lumea din jur. Cea mai simplă cale pentru a ne da seama de cât de importante sunt aceste parteneriate este să luăm în calcul ce se poate întâmpla dacă ele se destramă. Imaginați-vă că toți microbii de pe planetă ar dispărea subit. Partea bună a lucrurilor ar fi că bolile infecțioase ar deveni istorie, iar

multe insecte dăunătoare ar fi incapabile să-și continue existența. Dar veștile bune se opresc aici. Mamiferele rume-gătoare precum vacile, oile, antilopele și căprioarele ar muri de foame, întrucât microbii intestinali sunt esențiali pentru a descompune fibrele dure ale plantelor pe care le consumă. Marile cirezi ale savanelor africane ar dispărea. Termitelile sunt la fel de dependente de funcțiile digestive ale microbiilor, deci și ele ar pieri, la fel ca animalele mai mari care se hrănesc exclusiv cu ele sau care depind de adăpostul oferit de mușuroaiele lor. Afidele, cicadele și alte gâze sugătoare de sevă ar muri fără bacteriile care le suplimentează nutrimentele lipsă din alimentație. În adâncurile oceanelor, mulțimi de scoici, viermi și alte animale se bazează pe bacterii pentru a se dezvolta. În absența microbilor, și ele se vor stinge, laolaltă cu întregul lanț trofic care populează aceste lumi abisale și întunecate. La adâncimi mai mici, lucrurile vor sta un pic mai bine. Coralii, care depind de alge microscopice și de o colecție surprinzător de diversă de bacterii, vor deveni slabi și vulnerabili. Mărețele lor recifuri se vor calcifia și se vor eroda, cu consecințe negative asupra tuturor formelor de viață pe care le susțin.

Destul de bizar, dar oamenii vor fi în regulă. Spre deosebire de alte animale pentru care sterilitatea înseamnă moarte rapidă, noi vom mai rezista câteva săptămâni, luni, poate chiar ani. Sănătatea noastră ar putea avea de suferit în cele din urmă, dar vom avea de rezolvat alte probleme mai importante. Deșeurile, în special dejecțiile, se vor acumula rapid în lipsa microbilor, specialiștii în descompunere. Și zootehnia noastră va dispărea odată cu animalele rume-gătoare. La fel și plantele de cultură; fără microbii care hrănesc plantele cu azot, Pământul va cunoaște o „dezverzire” catastrofală. (Dat fiind că în această carte mă concentrez exclusiv

asupra animalelor, le ofer pasionaților de botanică scuzele mele cele mai sincere.) „În aproximativ un an, prevedem colapsul total al structurilor societale, în directă legătură cu distrugerea catastrofală a lanțului trofic”, scriau microbiologii Jack Gilbert și Josh Neufeld, la finele acestui exercițiu de gândire.¹² „Majoritatea speciilor de pe Pământ vor dispărea, iar dimensiunile populațiilor se vor diminua masiv în rândul speciilor care vor rezista.”

Microbii contează. I-am ignorat. Ne-am temut de ei și i-am urât. Acum e timpul să-i apreciem, dat fiind că înțelegerea propriei noastre biologii va avea mult de suferit dacă nu o facem. În cartea de față vreau să vă prezint cum arată de fapt regnul animal și cât de fascinant este de urmărit ca un univers de parteneriate – așa cum este el în realitate. Aceasta este o versiune a istoriei naturale care o aprofundează pe cea cunoscută la scară largă, cea descrisă de cei mai cunoscuți naturaliști din trecut.

În martie 1854, un britanic pe nume Alfred Russel Wallace, în vârstă de 31 de ani, a pornit într-o călătorie legendară prin insulele Malaysiei și ale Indoneziei.¹³ A văzut urangutani cu blană de culoarea focului, canguri care țopăiau prin copaci, splendide păsări ale paradisului, fluturi gigantici, porcul babirusa ai cărui colți cresc prin rât și o broască în stare să planeze de la un copac la altul grație unor picioroange uluitoare. Wallace a capturat cu plasa, cu mâna și cu pușca toate minunățiile pe care le-a văzut, reușind să strângă o uluitoare colecție de peste 125 000 de specimene: cochilii; plante; mii de insecte ținute în insectare; păsări și mamifere jupuite, împăiate sau conservate în alcool. Numai că, spre deosebire de mulți dintre contemporanii săi, Wallace a și

etichetat totul cu meticulozitate, notând *de unde* a dobândit fiecare specimen.

Acest amănunt a fost crucial. Din detaliile consemnate, Wallace a extras tipare. A remarcat multe variații în rândul animalelor care trăiau într-o anumită regiune, chiar și în rândul celor din aceeași specie. A remarcat că unele insule găzduiau specii unice. Și-a dat seama că pe măsură ce naviga spre est din Bali în Lombok – pe o distanță de numai 35 de kilometri – animalele Asiei făceau brusc loc faunei foarte diferite din Australasia, ca și cum cele două insule ar fi fost separate de o barieră invizibilă (care ulterior avea să fie numită Linia Wallace). Astăzi este considerat pe drept cuvânt părintele biogeografiei – știința care deslușește unde sunt și unde nu sunt speciile. Dar, cum scria David Quammen în *The Song of the Dodo*: „Așa cum este ea practică de cercetători grijulii, biogeografia face mai mult decât să întrebe *Care specie?* și *Unde?*. Întreabă și *De ce?*. Și, ceea ce uneori este chiar mai important, *De ce nu?*”.¹⁴

Studiul microbiomurilor începe în exact același fel: prin catalogarea celor găsite în diferite animale sau în diferite părți ale aceluiași animal. Care specii trăiesc unde? De ce? Și de ce nu? Înainte de a cunoaște mai profund care le sunt contribuțiile, trebuie să le cunoaștem biogeografia. Specimenele și observațiile lui Wallace l-au condus pe acesta spre găselnița definitorie a biologiei: speciile se schimbă. „*Fiecare specie a ajuns să ființeze în spațiu și în timp concomitent cu o specie aliată preexistentă*”, scria el, în mod repetat și deseori cu italice.¹⁵ Pe măsură ce animalele concurează între ele, indivizii cei mai adaptați supraviețuiesc și se reproduc, transmitându-le urmașilor însușirile lor pozitive. Altfel spus, evoluează în virtutea selecției naturale. Aceasta a fost

cea mai importantă revelație produsă vreodată în știință, și totul a început cu o curiozitate nestăpânită față de cum funcționează lumea, din dorința de a o explora și având aptitudinea de a observa ce anume trăiește unde.

Wallace a fost doar unul dintre naturaliștii exploratori care au colindat lumea în lung și-n lat și i-au clasificat bogățiile. Charles Darwin a rezistat într-o călătorie de cinci ani în jurul lumii, la bordul *HMS Beagle*, în cursul căreia avea să descopere oseminte fosilizate de leneși tereștri și tatu giganti în Argentina, să întâlnească țestoase și iguane de mare, precum și numeroase specii de mierlă în Insulele Galapagos. Experiențele și colecțiile sale au sădit semințele intelectuale ale aceleiași idei care a germinat independent în mintea lui Wallace – teoria evoluției, care va fi legată inextricabil de numele său. Thomas Henry Huxley, care a fost poreclit „buldogul lui Darwin” pentru ferocitatea cu care susținea selecția naturală, a navigat în Australia și Noua Guinee, studiind nevertebratele locale. Botanistul Joseph Hooker și-a croit cale până în Antarctica, culegând mai toate plantele întâlnite pe drum. Mai recent, E.O. Wilson, după ce a studiat furnicile din Melanezia, a scris manualul biogeografiei.

S-a presupus în repetate rânduri că toți acești cercetători de legendă s-au concentrat pe de-a-ntregul asupra lumilor vizibile ale animalelor și ale plantelor, ignorând lumea ascunsă a microbilor. Nu este într-unu totul adevărat. Darwin cu siguranță a colectat și microbi – pe care-i numea „infuzori” – dintre cei care mai apăreau pe puntea *Beagle*, și corespundea frecvent cu cei mai cunoscuți microbiologi ai perioadei.¹⁶ Dar demersul său a fost destul de limitat de instrumentele pe care le avea la dispoziție.

Spre deosebire de acele vremuri, cercetătorii de azi pot să culeagă mostre de microbi, să le descompună, să le extragă

ADN-ul și să-i identifice prin analiza secvențială a genelor acestora. Procedând astfel, fac exact ceea ce făcuseră Darwin și Wallace. Colectează specimene din locuri diferite, le identifică și pun întrebarea fundamentală. Ce anume trăiește unde? Fac tot biogeografie, numai că la altă scară. Atingerea blândă a tamponului de bumbac înlocuiește arcuirea plasei de fluturi. Analiza genelor se face ca răsfoirea unui ghid turistic. Iar o după-amiază la zoo, mergând din cușcă-n cușcă, poate fi ca voiajul *Beagle*, navigând din insulă-n insulă.

Darwin, Wallace și colegii lor au fost în mod special fascinați de insule dintr-un motiv foarte bine întemeiat. Dacă vrei să vezi cele mai des întâlnite, mai bizare și mai neobișnuite forme de viață, trebuie să mergi pe insule. Izolarea, granițele restrictive și mărimea finită a acestora permit evoluției să se desfășoare în largul ei. Tiparele determinării biologice sunt mult mai concentrate aici decât pe teritoriul continental vast și contingent. Însă o insulă nu înseamnă neapărat o bucată de sol înconjurată de apă. Pentru microbi, fiecare gazdă este practic o insulă – o lume înconjurată de vid. Mâna mea, care se întinde și-l mângâie pe Baba în Grădina Zoologică din San Diego, este ca o plută care transportă specii între o insulă în formă de om și una în formă de pangolin. Un adult răvășit de holeră este ca Guamul invadat de șerpi. Niciun om nu e o insulă? Dimpotrivă: cu toții suntem insule din perspectiva bacteriilor.¹⁷

Fiecare dintre noi posedă un microbiom propriu, distinct, conturat de genele pe care le moștenim, de locurile în care am trăit, de medicamentele pe care le-am înghițit, de hrana pe care am consumat-o, de anii pe care i-am numărat, de mâinile pe care le-am strâns. Din punct de vedere microbiotic suntem similari, dar diferiți. Când au început să catalogheze prima oară microbiomul uman în integralitatea sa,

microbiologii sperau să descopere un „nucleu”: un grup de specii comun tuturor indivizilor. Existența unui astfel de nucleu este dezbătută și astăzi.¹⁸ Unele specii sunt într-adevăr comune, dar niciuna nu se regăsește pretutindeni. Dacă există un nucleu, acesta funcționează la nivelul *funcțiilor*, nu al organismelor. Sunt anumite sarcini, precum digestia unui nutriment oarecare, asigurate de *un* microb anume – numai că nu întotdeauna același. Aceeași tendință poate fi observată și la scară mai mare. Păsările kiwi din Noua Zeelandă scormonesc prin patul de frunze în căutare de viermi la fel cum o fac bursucii în Anglia. Tigrii și leoparzii pătați vânează prin pădurile Sumatrei, însă în mediul complet lipsit de feline al Madagascariului personajul echivalent este o mangustă uriașă și ucigașă numită fossa; în Komodo, rolul prădătorului de top este jucat de o șopârlă gigantică. Insule diferite, specii diferite, sarcini identice. Insulele în chestiune pot fi mari întinderi de pământ sau pur și simplu indivizi.

De fapt fiecare individ este mai degrabă un arhipelag – un lanț de insule. Fiecare dintre părțile corpului omenesc are propria faună microbiană, la fel cum diferitele insule Galapagos au propriile specii de țestoase și de cinteze. Microbiomul pielii omului este domeniul *Propionibacterium*, *Corynebacterium* și *Staphylococcus*; în timp ce *Bacteroides* domnesc peste intestine, *Lactobacillus* guvernează vaginul, iar *Streptococcus* stăpânește gura. De asemenea, fiecare organ este o variabilă în sine. Microbii care trăiesc la începutul intestinului subțire sunt foarte diferiți de cei întâlniți la celălalt capăt. Cei din tartru variază în afara și înăuntrul liniei gingivale. Pe piele, microbii din zonele uleioase de pe față și piept se deosebesc de cei care trăiesc în „junglile” umede din regiunea inghinală și subraț sau de cei care colonizează „deșerturile aride” ale antebrățelor și ale palmelor. Că veni

vorba de palme, mâna dreaptă are în comun cu mâna stângă doar o șesime din speciile sale de microbi¹⁹. Variațiile care există între părțile corpului sunt uriașe față de cele dintre indivizi. Mai simplu spus, bacteriile de pe antebrațele voastre sunt mai asemănătoare celor de pe antebrațul meu decât cu cele pe care le găzduiți în gură.

Microbiomul variază atât în spațiu, cât și în timp. La naștere, fiecare copil părăsește lumea sterilă din pânțelele mamei și este imediat colonizat de microbi vaginali ai acesteia; aproape trei sferturi din flora microbiană a unui nou-născut descinde direct din cea a mamei. Pe măsură ce bebelușul acumulează noi specii de la părinți și din mediu, microbiomul lui intestinal devine treptat tot mai divers.²⁰ Speciile dominante culminează și decad una după alta: pe măsură ce dieta bebelușului se modifică, specialiștii în digestia laptelui precum *Bifidobacterium* fac loc devoratorilor de carbohidrați precum *Bacteroides*. Iar pe măsură ce microbii se schimbă, același lucru se întâmplă și cu acțiunile lor. Încep să producă vitamine diferite și descătușează abilitatea de a digera hrană de „oameni mari”.

Această perioadă este turbulentă, dar se desfășoară în etape previzibile. Închipuiți-vă că priviți o pădure afectată recent de incendii sau o insulă proaspăt apărută din apele oceanului. Ambele vor fi colonizate de plante simple, precum lichenii și mușchii. Arborii mai înalți vor apărea mai târziu. Ecologiștii numesc asta *succesiune*, un proces care este valabil și în cazul microbilor. Microbiomul bebelușului atinge stadiul de adult într-un interval care poate dura oricât între unu și trei ani. Urmează o lungă perioadă de stabilitate. Microbiomul poate varia de la o zi la alta, de la răsărit la apus, ba chiar de la o masă la alta, dar astfel de variații sunt minuscule în comparație cu cele de la începuturi. Dinamismul microbiomului adult maschează un fundal de constanță.²¹

ED YONG

Tiparul exact al succesiunii diferă între speciile de animale, deoarece se pare că suntem gazde mofturoase. Nu suntem pur și simplu colonizați de indiferent ce microbi s-ar întâmpla să poposească pe sau în noi. Avem și posibilități de a ne alege partenerii microbieni. Vom vorbi și despre astfel de trucuri, dar deocamdată să ne rezumăm la a reține doar că microbiomul uman este diferit de cel al cimpanzeului, care arată altfel decât cel al gorilei, la fel cum pădurile din Borneo (urangutani, elefanți pitici, giboni) diferă de cele din Madagascar (lemuri, fosse, cameleoni) sau din Noua Guinee (păsările paradisiului, canguri de copaci, cazuari). Știm asta întrucât oamenii de știință au analizat și au secvențiat aproape întreg regnul animal. Ei au descris microbiomurile urșilor panda, ale cangurilor mici, varanilor, lorișilor, delfinilor, râmelor, afidelor, urșilor polari, dugongilor, pitonilor, aligatorilor, muștelor țețe, pinguinilor, papagalilor, midiilor, capibarelor, liliecilor vampir, cucilor, iguanelor de mare, curcanilor, vulturilor, babuinilor, termitelor și ale multor altor specii. Au secvențiat microbiomuri de bebeluși, de nou-născuți prematuri, de copii, de adulți, de bătrâni, de gravide, de gemeni, de orășeni din SUA sau din China, de țărani din Burkina Faso sau Malawi, de băștinași amazonieni care anterior nu mai avuseseră contact cu restul lumii, de vânători-culegători din Camerun sau Tanzania, de oameni slabi și grași, de bolnavi și de oameni în perfectă stare de sănătate.

Studii de acest fel se fac tot mai des. Chiar dacă știința microbiomurilor este de fapt veche de câteva secole, progresele înregistrate de ea în ultimele câteva decenii au atins o viteză uluitoare, grație evoluției tehnologice și a revelației fundamentale potrivit căreia microbii contează enorm pentru noi – în special în context medical. Aceștia ne influențează organismele într-o măsură atât de mare încât pot determina

cât de bine reacționăm la vaccinuri, câte nutrimente extrage un copil din hrană și cât de pozitiv răspund la tratament bolnavii de cancer. Multe afecțiuni, între care obezitatea, astmul, cancerul la colon, diabetul și autismul, sunt însoțite de schimbări în microbiom, ceea ce sugerează că microbii implicați sunt cel puțin un indicator de boală – și cel mult o cauză a acesteia. Dacă cea din urmă variantă este adevărată, probabil vom fi capabili să ne îmbunătățim substanțial sănătatea prin ajustarea comunităților noastre microbiene: adăugând sau eliminând specii, transplantând comunități întregi de la o persoană la alta și fabricând organisme sintetice. Putem chiar să manipulăm microbiomurile altor animale, destrămând parteneriatele care le permit viermilor parazitari să ne transmită boli tropicale grave, creând în același timp simbioze noi, care ar îngădui țânțarilor să combată, nu să transmită, virusul care cauzează febra Dengue.

Acesta este un domeniu științific în care schimbările se produc cu repeziciune, dar și unul încă învăluit în incertitudine, imposibil de sondat și controversat. Nu putem nici măcar să identificăm mulți dintre microbii care ne populează organismele, darămite să ne dăm seama cum ne influențează viața sau sănătatea. Dar tocmai asta e captivant! În mod sigur e mai bine să stai pe creasta valului, privind la ce ți se așterne înaintea, decât să fi ajuns deja pe țărni. Sute de cercetători se află în prezent pe acel val. Finanțările curg. Numărul documentelor științifice relevante a crescut exponențial. Microbii au dominat planeta dintotdeauna, dar pentru prima oară în istorie au ajuns *la modă*. „Asta fusese o știință completamente secundară; acum este una de prim rang”, afirmă bioloaga Margaret Mcfall-Ngai. „A fost distractiv să văd cum își dă seama lumea că microbii sunt centrul universului și cum prosperă microbiologia. Acum știm că vasta diversitate a biosferei este dată de

microbi, că ei trăiesc în asocieri intime cu animalele și că biologia animală a fost conturată prin interacțiuni cu microbi. În opinia mea, aceasta este cea mai semnificativă revoluție în biologie de la Darwin încoace.”

Criticii susțin că popularitatea microbiomului este nemeritată și că majoritatea studiilor în domeniu ar alcătui ceva similar unei colecții de timbre rare. Ce contează că știm ce microbi trăiesc pe fața unui pangolin sau în intestinele unei persoane? Asta ne spune *ce* și *unde*, dar nu și *de ce* sau *cum*. De ce trăiesc anumiți microbi pe unele animale, și nu pe altele, sau pe anumiți indivizi, dar nu pe toți, sau pe anumite părți ale corpului, și nu pe toate? De ce vedem tiparele pe care le vedem? Cum au apărut aceste tipare? Cum și-au croit microbii drum în gazdele lor încă de la început? Cum și-au pecețluit parteneriatele? Cum fac față situației în care alianțele se destramă?

Acestea sunt întrebări profunde, cărora domeniul încearcă să le răspundă. Vă voi arăta, în cartea de față, cam pe unde am ajuns cu răspunsurile, câte promisiuni implică înțelegerea și manipularea microbiomurilor și cât de departe va trebui să mergem pentru a respecta acele promisiuni. Pentru moment, să reținem că întrebărilor în cauză nu li se poate răspunde decât prin culegerea unor fragmente de informații, la fel cum au procedat Darwin și Wallace în călătoriile lor cruciale. Colecționarea de timbre este importantă. „Chiar și Jurnalul lui Darwin era doar o carte științifică de călătorii, un festival al locurilor și al creaturilor pline de culoare, care nu propunea vreo teorie evoluționistă”, scria David Quammen.²² „Teoria avea să vină mai târziu.” Înaintea ei a fost multă muncă grea. Clasificări. Catalogări. Colectări. „În cazul noilor continente neexplorate, înainte de a afla de ce sunt lucrurile acolo unde sunt, trebuie să descoperi unde sunt”, spune Rob Knight.

Knigha a abordat încă de la început munca sa la Grădina Zoologică din San Diego exact în acest spirit al explorării. Dorea să analizeze pielea de pe fața și corpul diferitelor mamifere de aici pentru a le descrie microbiomurile și chimicalele – metaboliții – produse de microbi. Substanțele respective alcătuiesc mediul în care trăiesc și evoluează microbii, indicând totodată și cum le merge acestora, nu doar ce specii sunt prezente. Sondarea metaboliților seamănă cu inventarierea exporturilor, alimentelor și operelor de artă ale unui oraș, mai degrabă decât cu un simplu recensământ al locuitorilor. Knigha a încercat de curând să treacă în revistă metaboliții de pe tenul oamenilor, dar a descoperit că multe produse cosmetice, cum ar fi loțiunile de protecție solară și cremele de față, distrug metaboliții microbieni naturali.²³ Soluția: investigarea pielii de pe fețele animalelor. La urma urmei, pangolinul Baba nu se dă cu cremă hidratantă. „Sperăm să obținem și mostre bucale”, zice Knigha. „Și poate și vaginale.” Eu ridic o sprânceană. „Programele reproductive derulate aici pentru gheparzi și urși panda au frigidere pline cu mostre vaginale”, mă asigură el.

Îngrijitorul zoo ne arată o colonie de cârțițe golașe circulând printr-o instalație de țevi de plastic transparent legate între ele. Sunt animale teribil de urâte, un soi de cârnați șifonați cu dinți. Sunt și incredibil de ciudate: insensibile la durere, rezistente la cancer, extrem de longevive, grozave la controlul temperaturii corporale și posesoare ale unor spermatozoizi diformi și nefertili. Trăiesc în colonii ca ale furnicilor, cu regine și lucrătoare. Și își amenajează vizuini, aspect care îl interesează pe Knigha. Acesta tocmai a obținut o finanțare pentru a studia animalele care au trăsături sau stiluri de viață specifice: săpatul de vizuini, zborul, traiul în apă, adaptări la frig sau căldură și chiar inteligența. „Este o