

# Planeta Simbiótico

UM NOVO OLHAR PARA A EVOLUÇÃO

LYNN MARGULIS



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. Comparação de células procariote e eucariote, 22
2. Filogenia SET, 54
3. Espiroquetas se transformam em flagelados, 59
4. Mão dos cinco reinos, 81
5. *Mixotrichia paradoxa*, 95
6. Biota de Ediacara, 137
7. Protistas acasalando, 142

### Créditos das figuras:

- 1, Christie Lyons
- 2 e 6, Laszlo Meszoly
- 3 e 5, Kathryn Delisle
- 4 e 7, Dorion Sagan

## SUMÁRIO

- UM PREFÁCIO SIMBIÓTICO, 10  
*Antonio Donato Nobre e colaboradores*
- PRÓLOGO, 15
1. SIMBIOSE EM TODOS OS LUGARES, 21
  2. CONTRA A ORTODOXIA, 31
  3. INDIVIDUALIDADE POR INCORPORAÇÃO, 56
  4. O NOME DA Videira, 78
  5. A VIDA A PARTIR DA ESPUMA, 103
  6. LEGADO SEXUAL, 125
  7. EM TERRA FIRME, 147
  8. GAIA, 157
- APÊNDICE, 180
- NOTAS, 181
- ÍNDICE REMISSIVO, 186
- GLOSSÁRIO, 194
- BIBLIOGRAFIA DOS COMENTÁRIOS, Aliny Pires, 197

são obra de Deus, mas de bilhões de anos de interação entre micróbios altamente responsivos. Esse ponto de vista é perturbador para algumas pessoas. Para alguns é uma notícia apavorante da ciência, uma fonte de informação repudiável. Considero-o fascinante: ele me estimula a aprender mais.

## 1. SIMBIOSE EM TODOS OS LUGARES

*Em sua carruagem brilhante uma abelha*

*Dirigiu corajosa até uma rosa*

*Ao mesmo tempo descendo*

*De si mesma*

(1339)

A SIMBIOSE, o sistema em que os membros de diferentes espécies vivem em contato físico, nos parece ser um conceito misterioso e um termo biológico especializado, uma vez que não temos consciência de seu predomínio. Não apenas nossos intestinos e cílios estão infestados de bactérias e simbiontes animais, mas, se você observar seu quintal ou um parque, os simbiontes não estarão evidentes, mas eles são onipresentes. O trevo e a ervilhaca, ervas daninhas comuns, têm pequenas bolas nas raízes. São as bactérias fixadoras de nitrogênio, essenciais para o crescimento saudável em um solo pobre em nitrogênio. Depois observe as árvores, o bordo, o carvalho e a noqueira. Mais de trezentos diferentes simbiontes fúngicos, a micorriza que observamos como cogumelos, estão entrelaçados em suas raízes. Ou olhe um chorro, que geralmente nem percebe os vermes simbióticos presentes em seu intestino. Somos simbiontes em um planeta simbiótico e, se prestarmos atenção, podemos encontrar a simbiose em todos os lugares. O contato físico é um requisito inegociável para muitos tipos diferentes de vida.

Quase tudo em que trabalho atualmente foi previsto por eruditos ou naturalistas desconhecidos. Um de meus predecessores científicos mais importantes compreendia e explicava por completo o papel da simbiose na evolução. O anatomista Ivan E. Wallin (1883-1969), da Universidade

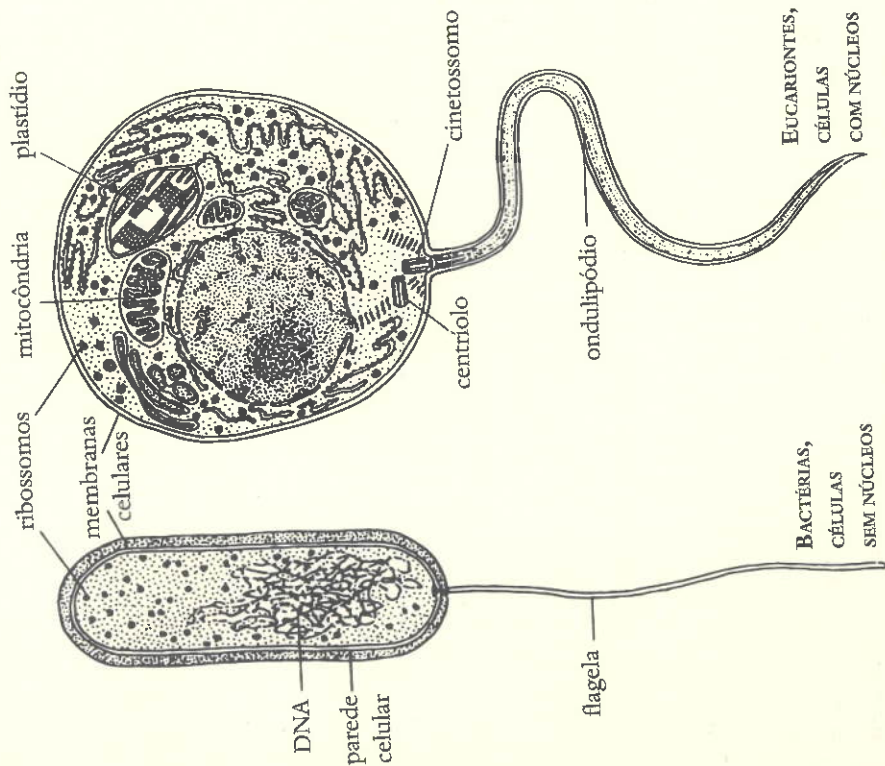


FIGURA 1  
Comparação de células Procariote e Eucariote.

do Colorado, escreveu um excelente livro no qual afirmava que as novas espécies se originavam da simbiose. A *simbiogênese*, um termo evolutivo, refere-se à origem de novos tecidos, órgãos, organismos — e até espécies — por meio da simbiose permanente ou de longo prazo. Wallin nunca empregou o termo *simbiogênese*, mas ele entendia o conceito perfeitamente. Ele deu ênfase especial à simbiose entre animais e bactérias, um processo que denominou “o estabelecimento de complexos microsimbióticos” ou “simbiontismo”. Isso é importante. Embora Darwin tenha intitulado sua obra-prima de *A origem das espécies*, o surgimento de novas espécies raramente é tratado em seu livro.<sup>1</sup>

A simbiose, e neste ponto concordo com Wallin, é crucial para o entendimento da inovação evolutiva e da origem das espécies. Para dizer a verdade, creio que a própria noção de espécie requer a simbiose. As bactérias não têm espécies.<sup>2</sup> Não existiam espécies antes que as bactérias se juntassem para formar células maiores, incluindo os ancestrais de plantas e animais. Neste livro explicarei como a simbiose duradoura levou primeiro à evolução de células complexas com núcleos e a partir daí a outros organismos, como fungos, plantas e animais.

A noção de que as células de animais e plantas tiveram origem por meio da simbiose não é mais motivo de controvérsia. A biologia molecular, incluindo o sequenciamento genético, reivindicou esse aspecto de minha teoria da simbiose celular. A incorporação permanente de bactérias dentro das células de plantas e animais na forma de plastídios e mitocôndrias é a parte da minha teoria da endossimbiose sequencial que hoje aparece até mesmo nos livros didáticos

do ensino médio.\* Mas o verdadeiro impacto da visão simbiótica da evolução ainda está para ser sentido. E a ideia de que novas espécies surgem de fusões entre membros de espécies antigas ainda não é sequer debatida na sociedade científica respeitável.

Eis um exemplo. Certa vez perguntei ao eloquente e amável paleontólogo Niles Eldredge se ele conhecia algum caso em que a formação de uma nova espécie houvesse sido documentada. Disse a ele que me daria por satisfeita se seu exemplo fosse obtido do laboratório, do campo ou de observações de registros fósseis. Ele conseguiu convocar apenas um bom exemplo: as experiências de Theodosius Dobzhansky (1900-1975) com a drosófila, a mosca-das-frutas. Nessa experiência fascinante, populações de moscas-das-frutas, desenvolvendo-se a temperaturas cada vez mais elevadas, se tornaram geneticamente distintas. Após dois anos, mais ou menos, as moscas da linhagem quente não produziam mais prole fértil com suas irmãs de linhagem fria. "Mas", Eldredge logo acrescentou, "depois se descobriu que isso estava relacionado a um parasita!". De fato, posteriormente se descobriu que as moscas de linhagem quente não tinham uma bactéria simbiótica intracelular encontrada nas moscas de linhagem fria. Eldredge não considerou esse caso como uma observação de especiação porque ele envolvia uma simbiose microbiana! Ele aprendera, como todos nós aprendemos, que os micróbios são germes, e que onde há germes há doença, não uma nova espécie. E ele aprendera

\* Atualmente, é uma das principais teorias, que explica a diversificação da vida no planeta e o surgimento das células eucarióticas e sua estrutura, ensinada em todas as etapas do ensino. (A.P.)

que a evolução pela seleção natural ocorre pelo acúmulo gradual, ao longo de eras, de mutações isoladas nos genes.

Ironicamente, Niles Eldredge é o autor, junto com Stephen Jay Gould (1941-2002), da teoria do "equilíbrio pontuado". Eldredge e Gould afirmam que os registros fósseis mostram que a evolução é estática durante a maior parte do tempo e procede aos solavancos: rápidas alterações em populações fósseis ocorrem ao longo de breves períodos; a estase então prevalece por longos períodos. Do ponto de vista de longo alcance do tempo geológico, simbioses são como flashes de relâmpagos evolutivos. Na minha opinião, a simbiose como fonte de inovação evolutiva ajuda a explicar a observação do "equilíbrio pontuado", de descontinuidades no registro fóssil.

Além das moscas-das-frutas, entre os outros únicos organismos em meio aos quais se observou o surgimento de espécies em laboratório estão os membros do gênero *Amoeba*, e a simbiose estava envolvida. A simbiose é um tipo, mas não o tipo notório, de lamarckismo. O "lamarckismo", assim chamado por causa de Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), que os franceses afirmam ter sido o primeiro evolucionista, em geral é dispensado como "herança de características adquiridas". No lamarckismo simples, os organismos herdam traços induzidos em seus pais pelas condições ambientais, enquanto na simbiogênese os organismos adquirem não traços, mas outros organismos inteiros e, é claro, seus conjuntos de genes completos! Eu poderia dizer, como meus colegas franceses tantas vezes fizeram, que a simbiogênese é uma forma de neolamarckismo. A simbiogênese é a mudança evolutiva pela herança de conjuntos de genes adquiridos.<sup>3</sup>

Os seres vivos escapam a uma definição concisa. Eles lutam, se alimentam, dançam, acasalam, morrem. Na base da criatividade de todas as grandes formas de vida familiar, a simbiose gera inovação. Ela junta diferentes formas de vida, sempre por algum motivo. Muitas vezes a fome une o predador à presa ou a boca à bactéria fotossintética ou alga que é a vítima. A simbiogênese junta indivíduos diferentes para formar seres maiores, mais complexos. As formas de vida simbiogênicas são ainda mais diferentes do que seus "pais" improváveis. "Indivíduos" estão sempre se fundindo e regulando sua reprodução. Eles geram novas populações, que se tornam novos indivíduos simbióticos compostos por múltiplas unidades. Estes se tornam "novos indivíduos" em níveis maiores, mais abrangentes de integração. A simbiose não é um fenômeno limitado ou raro. Ela é natural e comum. Residimos em um mundo simbiótico.

Em Brittany, na costa noroeste da França, e ao longo das praias junto ao canal da Mancha, encontramos uma estranha forma de "alga marinha" que na verdade não é uma alga marinha. De longe, ela é uma mancha verde-clara sobre a areia. As manchas deslizam e cintilam em poças rasas. Se você pegar a água verde e deixar que ela escorra pelos dedos, notará fitas pegajosas muito semelhantes a algas marinhas. Uma pequena lente de aumento ou um microscópio de baixa potência revela que o que pareciam ser algas marinhas na verdade são vermes verdes. Essas aglomerações de vermes verdes banhados ao sol, ao contrário de qualquer alga marinha, se escondem na areia e efetivamente desaparecem. Eles foram descritos pela primeira vez na década de 1920 por um inglês, F. Keeble (1870-1952), que passava os verões em Roscoff.

Keeble os chamou de "plantas-animais" e esboçou-os esplendidamente no frontispício colorido de seu livro, *Plant-Animals*. Os platemintos da espécie *Convoluta roscoffensis* são todos verdes porque seus tecidos são apinhados de células *Platymonas*, como os vermes são transparentes, a cor verde das *Platymonas*, algas fotossintetizantes, aparece. Embora adoráveis, as algas verdes não são apenas decorativas: elas vivem e crescem, morrem e se reproduzem dentro dos corpos dos vermes. De fato, elas produzem o alimento que os vermes "comem". As bocas dos vermes se tornam supérfluas e não funcionam depois que as larvas do verme saem da casca. A luz do Sol alcança as algas dentro de suas estufas móveis e lhes permite crescer e se alimentar enquanto vertem produtos fotossintéticos e alimentam seus hóspedes internamente. As algas simbióticas chegam a fazer um favor ao verme no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos: elas reciclam o resíduo de ácido úrico do verme em nutrientes para elas mesmas. Algas e vermes compõem um ecossistema em miniatura nadando ao sol. Para dizer a verdade, esses dois seres são tão íntimos que é difícil dizer, sem um microscópio de grande potência, onde termina o animal e onde começa a alga.

Esse tipo de parceria é abundante. Corpos de *Plachobrychus*, caracóis, abrigam simbioses verdes crescendo em fileiras tão uniformes que parecem ter sido plantados. Mariscos gigantes agem como jardins vivos, nos quais seus corpos mantêm as algas voltadas em direção à luz. *Mastigias* é um medusoide do tipo caravela que nada no oceano Pacífico. Como uma série de pequenos guarda-chuvas verdes, medusoides *Mastigias*<sup>4</sup> flutuam aos milhares junto aos raios de luz na superfície da água.

De forma semelhante, hidras tentaculadas de água doce podem ser brancas ou verdes, dependendo de seus corpos estarem ou não repletos de parceiros verdes fotossintéticos. Será que as hidras são animais ou plantas? Quando uma hidra verde é permanentemente habitada por seus parceiros produtores de alimento (chamados *Chlorella*), é difícil dizer. Quando são verdes, as hidras são simbióticas. São capazes de fazer fotossíntese, nadar, se movimentar e ficar imóveis. Elas permaneceram no jogo da vida porque se tornaram indivíduos por incorporação.

Todos os 30 milhões de espécies de nós, animais, têm origem no microcosmo. O mundo microbiano, manancial do solo e do ar, caracteriza nossa própria sobrevivência. Um dos principais temas do drama microbiano é o surgimento de individualidade a partir das interações comunitárias de atores antes independentes.

Adoro observar as lutas diárias pela vida de nossos companheiros de planeta não humanos. Por muitos anos eu e Lorraine Olendzenski, ex-aluna hoje na Universidade de Connecticut, gravamos em vídeo a vida no microcosmo. Mais recentemente trabalhamos com Lois Byrnes, a vivaz ex-diretora adjunta do New England Science Center em Worcester, Massachusetts. Nós e um excelente grupo de alunos da Universidade de Massachusetts produzimos filmes e vídeos que apresentam nossos amigos microbianos às pessoas.

O *Ophrydium*, uma espuma de água doce parada que, a um olhar mais atento, parece ser composta de um número contável de "bolas de gelatina verde", é um exemplo de individualidade emergente que descobrimos recentemente em Massachusetts e redescobrimos. Nossos filmes mostram

essas bolas de água com extrema clareza. A bola maior de gelatina verde "individual" é composta de "indivíduos" menores, ativamente contráteis, em forma de cone. Estes, por sua vez, são compósitos: *Chlorellas* verdes vivem dentro de ciliados, todas dispostas em fileiras. Dentro de cada cone de cabeça para baixo há centenas de simbioses esféricas, células de *Chlorella*. A *Chlorella* é uma alga verde comum; as algas do *Ophrydium* são colocadas a serviço da comunidade de bolas de gelatina. Cada "organismo individual" desta "espécie" é na verdade um grupo, um pacote de micróbios fechado por membranas que se assemelha e age como um indivíduo.

Uma bebida nutritiva chamada kefir, consumida nas montanhas do Cáucaso, também é um complexo simbiótico. O kefir contém coalhos granulados que os georgianos chamam de "grãos de Maomé". O coalho é um pacote integrado de mais de 25 tipos de levedura e bactérias. Cada coalho é composto por milhões de indivíduos. Esses corpos interativos de organismos amalgamados surgem às vezes novos organismos. A tendência da vida "independente" é se aglomerar e ressurgir em uma nova totalidade em um nível maior e mais elevado de organização. Creio que o futuro próximo do *Homo sapiens* como espécie requer nossa reorientação em direção às fusões e incorporações dos companheiros de planeta que nos precederam no microcosmo. Uma de minhas ambições é persuadir um renomado diretor a produzir história evolutiva como imagem microcômica em filme formato 72 mm (IMAX ou OMNIMAX),\* mostrando

\* Sistemas de projeção de cinema em que as imagens projetadas, às vezes em enormes cúpulas, são muito maiores e mais nítidas que as dos sistemas convencionais. (N.T.)

espetaculares relacionamentos vivos à medida que se formam e se desfazem.

Agora, como ao longo de toda a história da Terra, as sociedades de vida se formam e se desfazem. As simbioses, tanto estáveis como efêmeras, prevalecem. Essas narrativas evolutivas merecem ser difundidas.

## 2. CONTRA A ORTODOXIA

*As montanhas erguem suas cabeças purpúreas*

*Os rios se inclinam para ver*

*Mas o homem não se aglomerou*

*Uma curiosidade*

(1688)

NÃO ME RECORDO DE ANGÚSTIA MAIOR que a de meus 13 anos. Nenhuma decepção profissional ou rejeição amorosa me lançou mais profundamente na infelicidade e na inércia. Em secreto exercício do que eu entendia como meus direitos como pessoa de livre-arbítrio, retirei-me furtivamente da oitava série do colégio de aplicação da Universidade de Chicago, com um contingente infinitamente inferior de possíveis namorados, e voltei à enorme escola secundária pública à qual decidi que pertencia. Recusei-me a ficar mais um dia que fosse naquele colégio, onde tudo era tão familiar e a álgebra era tão complicada.

Eu morava no adorável apartamento de meus pais em South Shore Drive e decidi que fugir era a única solução. É claro que eu não tinha dinheiro, nenhum lugar para ir, e havia um rígido cronograma de aulas e tarefas. Quando ficou claro que fugir seria impraticável e os dias se tornavam mais longos e o tempo ficava de um frio rascante, maquinei um plano. Tendo entrado na quarta série do colégio de aplicação na classe de setembro, a única que eles tinham, eu sabia,

A visão da engenharia asséptica nos libertando de nossos companheiros de planeta não é apenas insossa e tediosa, mas toca as raízes do revoltante. Não importa o quanto nossa espécie nos preocupe, a vida é um sistema muito mais amplo. A vida é uma interdependência incrivelmente complexa de matéria e energia entre milhões de espécies fora (e dentro) de nossa própria pele. Esses alienígenas terráqueos são nossos parentes, nossos ancestrais, e parte de nós. Eles reciclam nossa matéria e nos trazem água e alimento. Não sobrevivemos sem "o outro". Nosso passado simbiótico, iterativo e interdependente é interligado por águas agitadas.

## 8. GAIA

*Não há silêncio na Terra — tão silencioso  
Quanto o que durou  
Que, pronunciado, desencorajaria a natureza  
E assombraria o mundo  
(1004)*

A PROPRIOCEPÇÃO,\* a percepção de movimento e orientação espacial que se origina de estímulos dentro do corpo, é um conceito da área médica. Embora o termo não seja muito conhecido, o fenômeno é bastante familiar para todos nós. Nossos proprioceptores nos informam a todo momento que estamos de pé, inclinando a cabeça, apertando os olhos ou cerrando os punhos. Os proprioceptores trabalham como sistemas sensórios não das informações externas sobre as outras pessoas ou o ambiente, mas dentro do corpo. Nervos ligados a músculos disparam quando detectam movimentos, tal como uma mudança no posicionamento do corpo. Esses nervos automonitores nos dizem se estamos de pé ou de cabeça para baixo, parados dentro do ônibus ou sendo sacudidos de um lado para outro a uma velocidade de 50 quilômetros por hora.

---

\* Sugerimos a leitura de *Propriocepção: quando o ambiente se torna o corpo*, de Lynn Margulis, Dorton Sagan, Ricardo Guerrero e Luis Rico (Cadermos Selvagem, 2020). (N.E.)

A Terra tem um sistema proprioceptivo há milênios, muito antes da evolução dos seres humanos. Pequenos mamíferos anunciam a vinda de um terremoto ou um aguaceiro. As árvore liberam “voláteis”, substâncias que avisam os vizinhos que larvas de mariposa estão atacando suas folhas. A propriocepção, a sensibilidade a si mesmo, provavelmente é tão antiga quanto o próprio *self*. Gosto de pensar que nós, seres humanos, ampliamos e continuamos a acelerar a moderna capacidade proprioceptora de Gaia. Um incêndio na floresta de Bornéu e a queda de um helicóptero americano nos Alpes italianos chegam à cidade de Nova York pelos telejornais. No entanto, extintas matilhas de lobos e bandos de dinossauros tinham sua própria comunicação social proprioceptora; o sistema nervoso global sem dúvida não começou quando as pessoas surgiram. Gaia, a Terra fisiologicamente regulada, tinha comunicação proprioceptiva global muito antes da evolução dos seres humanos. O ar fazia circular emissões de gás e elementos químicos solúveis de árvores tropicais, insetos prontos para o acasalamento e bactérias ameaçadas de morte. Compostos de amor são levados pela brisa primaveril desde a era arqueana, mas a velocidade da propriocepção aumentou muito com a era eletrônica.

A segunda conferência Gaia, “Gaia em Oxford”, Inglaterra, realizada em abril de 1996, reuniu cientistas e ativistas ambientais para debater os superorganismos. Será que toda a vida na Terra constitui um só superorganismo? A vida é um ser único e autorregulador denominado Gaia? Será que a insistência no superorganismo dá origem a noções confortadoras, porém cientificamente injustificadas quanto à harmonia planetária?

Essas ideias foram reunidas por cerca de quarenta participantes, que chegaram à seguinte conclusão: a decisão de fundar a *Sociedade de Geofisiologia* na East London University. Para minha alegria, essa decisão foi revogada no final de 1997: Gaia vive, a geofisiologia está morta. A nova organização agora se autodenomina *Gaia: Sociedade de Pesquisa e Educação na Ciência do Sistema da Terra*. Gaia, a sociedade científica, foi lançada em 9 de fevereiro de 1998, na sede da Royal Society em Londres. O biólogo E. O. Wilson (1929-2021), maior especialista do mundo em biodiversidade e perito no comportamento social e habilidade tecnológica das formigas, enviou-me um vídeo de saudação. Realizar a inauguração formal na jurisdição da mais antiga e respeitada sociedade científica do mundo foi uma maravilhosa manobra para a teoria Gaia. A saudação televisivada de um respeitado professor de Harvard representando os fãs de Gaia deste lado do Atlântico também foi uma jogada astuta. A maior comunicação entre possíveis colaboradores para a ciência de Gaia só fará aumentar a consciência da extensão de nossa ignorância quanto à superfície da Terra, da qual dependemos de forma tão crucial.

A hipótese Gaia não afirma, como muitos pretendem, que “a Terra é um só organismo”; todavia, a Terra, no sentido biológico, tem um corpo mantido por complexos processos fisiológicos. A vida é um fenômeno planetário e a superfície da Terra está viva há pelo menos 3 bilhões de anos. Na minha opinião, a atitude do homem de se responsabilizar pela Terra é cômica — a retórica dos impotentes. É o planeta que toma conta de nós, e não o contrário. A obrigação moral que presunçosamente nos atribuímos de governar uma

Terra instável ou curar nosso planeta doente é uma prova da nossa enorme capacidade de nos iludir. Na verdade, temos que nos proteger de nós mesmos.

A principal figura da conferência de 1996 foi James Lovelock (1919–2022), autor da hipótese Gaia. Lovelock foi o primeiro a afirmar, no início da década de 1970, que a vida como um todo otimiza o ambiente para seu próprio uso. Os biólogos ficaram exaltados com a palavra *otimiza*. Como, repreenderam eles, a vida poderia *planejar* alguma coisa? Lovelock já havia pensado na ideia de uma Terra viva em meados da década de 1960, anos antes de eu conhecê-lo, quando era consultor da NASA e ajudava a planejar formas de detectar vida em Marte. Jim percebeu que em qualquer planeta a vida teria de utilizar seus fluidos — que na Terra seriam a atmosfera, oceanos, lagos e rios — para reciclar os elementos necessários à vida. Os nutrientes têm de ser fornecidos e os resíduos, eliminados. A química de um planeta vivo, concluiu ele, deve ser acentuadamente diferente daquela de um planeta sem vida. Ele percebeu que as contradições químicas da atmosfera eram detectáveis até no espaço. Nossa atmosfera contém muito mais oxigênio do que deveria na presença de metano. Esses gases, extremamente reagentes quando misturados, não poderiam coexistir em concentrações tão altas a menos que os níveis fossem eficazmente mantidos. Há uma abundância de outros gases em uma mistura totalmente improvável e muito instável. O hidrogênio e até o nitrogênio reagem explosivamente na presença de oxigênio, mas coexistem na atmosfera terrestre. Quando Lovelock se via às voltas, pela primeira vez, com os problemas relativos à detecção de vida em Marte, análises de telescó-

pios instalados em terra já haviam mostrado que Marte, ao contrário de nosso planeta, tem uma atmosfera estável de gases não reagentes. Lovelock concluiu corretamente que não poderia haver vida em Marte. É claro que, de qualquer maneira, a missão *Viking* foi enviada a Marte na tentativa de detectar vida genuína. Na minha opinião, ao retransmitir os dados para a Terra, em 1976, o módulo de aterrissagem da *Viking* só fez corroborar a previsão de Lovelock a partir da teoria Gaia.

A atenção de Lovelock se voltou para a Terra. Um cientista independente, ao mesmo tempo isolado e livre da influência acadêmica, Jim buscou seus interesses à sua própria maneira. Ele é um inventor prolífico; sua principal contribuição é o dispositivo de captura de elétrons, um detector ligado a um instrumento chamado cromatógrafo gasoso, utilizado para medir as concentrações de determinados gases reagentes do ar, como os clorofluorcarbonos. Rejetado pela Hewlett-Packard, o equipamento de Lovelock foi um sucesso de vendas. O dispositivo permitiu que Sherwood Rowland (1927–2012) e Mario Molina (1943–2020), do MIT, recebessem o prêmio Nobel de Química de 1995 por mostrar como os gases de aerossol e semelhantes reagem e destroem a camada de ozônio estratosférica. As outras realizações de Jim incluem a comprovação das afirmativas de Rachel Carson (1907–1964) quanto ao impacto difuso dos pesticidas, que ela levou à atenção do público nos Estados Unidos em *Primavera Silenciosa*. Enquanto trabalhava com criogenia, a biologia de baixas temperaturas, para o Conselho de Pesquisa Médica (Medical Research Council, MRC) da Inglaterra, Jim desenvolveu uma maneira de congelar e descongelar

animais e seus espermatozoides. Ele descongelou espécimes congelados em uma câmara que construiu, uma espécie de forno de micro-ondas (no entanto, ele não patenteou essa invenção; o registro de patentes, além de demorado e caro, é um processo confuso e que requer muito contato social, exatamente o tipo de atividade que Lovelock evita).

Quando se interessou pela maneira como a vida influenciava a atmosfera da Terra, Jim perseguiu sua ciência sem apoio de instituições ou subvenção. Ele simplesmente mergulhou no assunto e mediu gases por conta própria. Jim nunca parou de se comunicar com colegas e alunos. O resultado dessa atividade incessante foi o desenvolvimento da teoria Gaia.

Começamos a nos corresponder no início da década de 1970. Em uma de suas primeiras respostas a minhas cartas, Jim escreveu que estava confuso em relação ao metano. Por que esse gás, que reage tão intensamente com o oxigênio, está sempre presente de forma mensurável na atmosfera da Terra? Ele deveria desaparecer. Suspeitando da vida desde o início, ele me perguntou se eu sabia o que poderia produzir esse gás. Respondi da forma como qualquer pessoa que leia a respeito de microbiologia teria respondido. O gás metano é produzido por bactérias, principalmente metanógenos que vivem em solos encharcados ou no estômago dos ruminantes. O produto metabólico das bactérias metanogênicas é liberado em fartas quantidades não pela flatulência das vacas (como eu sempre pensava), mas por seus arrotos. O metano é liberado no ar pelas bocas de bezerros, touros e vacas. O metano atmosférico rapidamente reage com o oxigênio e produz dióxido de carbono. Está claro que o ar metano

é substituído regularmente, pois está sempre presente em concentrações de duas a sete partes por milhão. Lovelock percebeu que essas concentrações de metano devem ser, portanto, produzidas pela vida. Outros exemplos de regulação de gases eram semelhantes.

Indícios geológicos sugerem que nosso planeta ficou mais frio nos últimos 3 bilhões de anos. Os astrônomos insistem que o Sol, uma estrela típica, ficou mais luminoso. O Sol deveria ter aquecido cada vez mais a superfície terrestre durante seu longo passado. O ajuste da temperatura e da atmosfera, concluiu Jim, deve ocorrer em escala global. Percebendo que essas condições ambientais vitais têm de ser ativamente controladas, Lovelock propôs que a vida mantém seu ambiente.

Tomando emprestado um termo da fisiologia, Lovelock afirmou que o ambiente de nosso planeta é homeostático. Assim como nossos corpos, e os de todos os mamíferos, mantêm uma temperatura interna relativamente estável a despeito de alterações de condições, o sistema da Terra mantém a temperatura e a composição atmosférica estáveis. Em termos de engenharia, escreveu Lovelock, a temperatura da atmosfera é ajustada em torno de pontos determinados por meio do *feedback* negativo. Suas afirmativas de que “a vida estabelece uma temperatura ambiental em um ótimo absoluto” foram mal compreendidas — criticadas ou, mais frequentemente, ignoradas. Lovelock cada vez mais pensava nesse sistema regulador planetário como fundamental para se entender a vida na Terra.<sup>1</sup>

O termo *Gaia* foi sugerido a Lovelock pelo romancista William Golding (1911–1993), autor de *O senhor das moscas*.

No início da década de 1970, os dois moravam em Bowerchalke, Wiltshire, na Inglaterra. Lovelock perguntou ao vizinho se seria possível substituir a longa e pesada expressão “sistema cibernético de tendência homeostática conforme detectado por anomalias químicas na atmosfera da Terra” por um termo que significasse “Terra”. “Preciso de uma boa palavra curta”, disse. Em caminhadas pelo campo na magnífica região das chapadas calcárias, no sul da Inglaterra, Golding sugeriu Gaia. Antiga palavra em grego para “Mãe Terra”, *Gaia* serve de raiz etimológica a muitos termos científicos, como *geologia*, *geometria* e *Pangeia*.

O nome agradou em cheio. Os ambientalistas e pessoas religiosas, atraídos pela ideia de uma deusa nativa poderosa, agarraram-se a ela, dando a Gaia uma conotação nitidamente não científica. Pouco antes da conferência de 1996 em Oxford, Jim sugeriu o termo *geofisiologia* para o estudo da superfície da Terra como um corpo semelhante a um organismo no qual a geologia e a biologia estão “estritamente unidas”, isto é, intimamente associadas.

Muitos cientistas ainda são hostis a Gaia — tanto ao termo como à ideia —, talvez por ela ser tão popular entre anticientistas e anti-intelectuais. Na cultura popular, quando o termo é conhecido, ele sempre se refere à noção da Mãe Terra como um só organismo. Gaia, uma deusa viva além do conhecimento humano, supostamente nos punirá ou recompensará por nossos danos ao ambiente ou bênçãos a seu corpo. Lamento essa personificação.

Conforme detalhado na teoria de Jim a respeito do sistema planetário, Gaia não é um organismo. Qualquer organismo tem de se alimentar pela fotossíntese ou quimiossíntese,

produzir seu próprio alimento. Todos os organismos geram resíduos. A segunda lei da termodinâmica fala claramente a respeito: para manter a organização de um corpo, é necessário desperdiciar energia, que é dissipada na forma de calor. Nenhum organismo se alimenta de seus próprios resíduos. Gaia, a Terra viva, transcende em muito qualquer organismo ou mesmo qualquer população. Os resíduos de um organismo são o alimento de outro. Sem distinguir entre o alimento de um e o resíduo de outro, o sistema de Gaia recicla a matéria em todo o planeta. Gaia, o sistema, é o resultado da interligação dos 10 milhões ou mais de espécies vivas que compõem seu corpo sempre ativo. Longe de ser frágil ou conscientemente irritável, a vida planetária é de extrema flexibilidade. Enquanto obedecem inconscientemente à segunda lei da termodinâmica, todos os seres buscam fontes de energia e alimento. Todos produzem calor inútil e resíduos químicos. Essa é sua obrigação biológica. Cada um deles cresce e, ao fazê-lo, exerce pressão sobre os muitos outros à sua volta. A totalidade da vida planetária, Gaia, exibe uma fisiologia que identificamos como ajuste ambiental. Gaia, em si, não é um organismo diretamente selecionado entre muitos outros. É uma propriedade emergente da interação de organismos, o planeta esférico no qual eles moram e uma fonte de energia, o Sol. Além do mais, Gaia é um fenômeno antigo. Trilhões de seres se acovelando, se alimentando, acasalando e transpirando compõem seu sistema planetário. Gaia, uma megera inflexível, não está de forma alguma ameaçada pelos seres humanos. A vida planetária sobreviveu por pelo menos 3 bilhões de anos antes que a humanidade fosse o sonho de um lépido símio com um desejo por uma parceira relativamente sem pelos.

Precisamos de sinceridade. Precisamos nos libertar de nossa arrogância específica da espécie. Não existem provas de que tenhamos sido "escolhidos", a espécie para a qual todas as outras foram feitas. Também não somos a mais importante por sermos tão numerosos, poderosos e perigosos. Nossa teimosa ilusão de termos recebido dispensa especial desvirtua nosso verdadeiro status de ervas daninhas mamíferas que ficam de pé.

Na cultura popular, a confusa ideia de Gaia lembra algo de mitológico. Gaia reproduz nossa ânsia por um significado para nossas breves vidas na Terra. Quando mal formulada, Gaia corrobora o puritanismo contemporâneo: o discurso feminista sobre os perigos do "estupro" e destruição da Terra iluminada pelo Sol. Há séculos personificamos a natureza. A tomada da teoria Gaia pelos inimigos da ciência e chefões dos meios de comunicação é surpreendente. Os primeiros culpam a ciência, que é apenas um modo de conhecimento, pelos excessos da tecnologia, e os últimos utilizam a ciência para justificar sua tosca arte de vender revistas e programas de televisão. Embora popularizada, exagerada e caluniada, a teoria Gaia não significa apenas conservação da natureza ou um retorno à deusa. Gaia é a superfície regulada do planeta, que está incessantemente criando novos ambientes e organismos. Mas o planeta não é humano, tampouco pertence aos seres humanos. Nenhuma cultura humana, a despeito de sua inventividade, pode acabar com a vida neste planeta, mesmo que tentasse. A Terra é mais um gigantesco conjunto de ecossistemas em interação do que um único ser vivo, e como fisiologia reguladora de Gaia ela transcende todos os organismos individuais. Os seres humanos não são o centro

da vida, e nenhuma outra espécie o é. Os seres humanos não são sequer fundamentais à vida. Somos uma parte recente e em rápido desenvolvimento de uma gigantesca e antiga totalidade.

Gaia não é nem cruel nem bondosa com relação à humanidade; ela é um nome conveniente para um fenômeno que abrange toda a Terra: o ajuste de temperatura, acidez/alcalinidade e composição gasosa. Gaia é a série de ecossistemas em interação que compõem um simples e enorme ecossistema na superfície da Terra. Ponto final.

Indícios fósseis mostram que a vida na Terra, em seus 3 bilhões de anos de história,\* resistiu a numerosos impactos iguais ou maiores que a detonação de todas as 5 mil bombas nucleares atualmente em estoque. A vida, sobretudo a vida bacteriana, é flexível. Ela se alimenta do desastre e da destruição desde o início. Gaia incorpora as crises ecológicas de seus componentes, reage de forma brilhante e, em sua nova necessidade, se torna a mãe da invenção.

Reunindo indícios levantados por meus colegas, creio que as bactérias primeiro removeram o hidrogênio ( $H_2$ ) de que seus corpos precisavam diretamente do ar. Depois absorveram o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) lançado pelos vulcões. Por fim, cianobactérias arrancaram átomos de hidrogênio da água ( $H_2O$ ). O oxigênio foi expelido como resíduo metabólico. Esse resíduo, a princípio desastroso, acabou fornecendo energia para o crescimento contínuo da vida. Novos resíduos testam a tolerância da vida e estimulam sua

---

\* Registros fósseis encontrados na Austrália sugerem que os primeiros organismos na Terra tenham surgido 3,5 bilhões de anos atrás. (A.P.)

criatividade. O oxigênio de que precisamos para respirar começou como uma toxina, e ainda o é. A liberação de oxigênio de milhões de cianobactérias resultou em um holocausto muito mais grave do que qualquer atividade ambiental humana. A poluição é natural. "Não desperdice" é um conselho, não uma descrição. Os resíduos das cianobactérias se tornaram nosso ar fresco. Nós, seres humanos, obtemos o hidrogênio de que precisamos comendo plantas ou outros animais. Não podemos passar sem ele. Muitas vezes seres recém-evoluídos crescem e se espalham rapidamente utilizando a energia, as provisões de alimento ou os resíduos dos outros, mas a expansão da população sempre para, porque é impossível comer ou respirar seu próprio resíduo. As populações entram em colapso ou têm crescimento mais lento quando encontram obstáculos à expansão. Esse controle do crescimento é exatamente o que Charles Darwin queria dizer com "seleção natural". Gaia é a soma dessas populações que crescem, interagem e morrem; uma cobertura planetária multiespécies, composta por uma miríade de seres muito diferentes, Gaia é o maior ecossistema da Terra.

Ao contrário dos ecossistemas que a compõem, Gaia é a personificação da reciclagem. Cerca de um quinto da atmosfera terrestre é composto de oxigênio ( $O_2$ ). Combinado com hidrogênio ( $H_2$ ) ou gases que contêm hidrogênio ( $CH_4$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ), o oxigênio causa explosões e incêndios. As reações que liberam energia transformam os gases reagentes em subprodutos "gastos" ou menos reagentes. Gases reagentes como o hidrogênio ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ), amônia ( $NH_3$ ), iodeto metílico ( $CH_3I$ ), cloroeto metílico ( $CH_3Cl$ ) e vários gases sulfurosos são detectáveis na atmosfera da Terra porque são liberados

pelos decompositores de forma mais rápida do que aquela de suas reações (com outros elementos do ambiente).

Minha amiga de longa data e ex-aluna Lorraine Olendzenski e eu produzimos um vídeo na Universidade de Massachusetts em Amherst (antiga Faculdade de Agricultura de Massachusetts). No vídeo, nossa maravilhosa amiga Betsy Blunt Harris, microbióloga que leciona para os professores de laboratórios de microbiologia há mais de uma década, estende a mão enluvada através de uma abertura cirúrgica, uma "fistula", no flanco de uma vaca perfeitamente saudável. Os dedos de Betsy tocam o rúmen da vaca, um grande estômago especial, um dos quatro estômagos encontrados em todas as vacas e parentes ruminantes. Pela fistula ela remove uma espécie de mingau marrom fibroso, em sua maior parte grama parcialmente digerida. O mingau é tão cheio de micróbios que tem de ser bastante diluído antes de ser visto com um microscópio. A comunidade microbiana da vaca inclui estranhos protistas ciliados natatórios. Muitas bactérias, a maioria menores que os ciliados, também habitam rúmens. Esses micróbios fazem o trabalho de digestão da grama.<sup>2</sup> Sem eles as vacas não conseguiriam digerir a celulose da grama. Na verdade, os micróbios que fazem a degradação da celulose, em um sentido muito real, são as vacas. Sem eles a vaca não seria capaz de engolir, fermentar, regurgitar e engolir de novo. Nenhuma vaca comeria grama ou ruminaria sem os intermediários microbianos. Um dos produtos gasosos da digestão de grama é o metano. As vacas arrotram grandes quantidades desse gás. O metano bovino é parte do motivo de o ar da Terra ser uma mistura química extremamente instável. Cupins de madeira também liberam

metano. Como as vacas, eles abrigam micróbios intestinais que decompõem a celulose em vários produtos químicos. Dióxido de carbono, metano, nitrogênio e gases que contêm enxofre são expelidos no ar pelos ânus de milhões de cupins. Os sistemas gasosos instáveis de longo prazo da atmosfera são resultantes da incessante vida microbiana.

Generalizando essas descobertas, Lovelock sugeriu que todo o sistema de ar do planeta é "metaestável", estável em sua reagente instabilidade. A persistência da reatividade química surge das ações combinadas de seres vivos. Toda a superfície do planeta, não somente os corpos vivos mas a atmosfera que pensamos ser um segundo plano inerte, está tão distante do equilíbrio químico que é mais bem descrita como viva.

É impossível enfatizar suficientemente que Gaia não é um único organismo. Minha Gaia não é uma noção vaga e exótica de uma mãe Terra que nos acalenta. A hipótese Gaia é ciência.<sup>3</sup> Conforme pressuposto na teoria Gaia, há poucas formas pelas quais a superfície do planeta se comporta como um sistema fisiológico. Entre os aspectos fisiologicamente controlados estão a temperatura superficial e a composição dos gases reagentes, inclusive o oxigênio, e pH ou acidez/alcalinidade.

Creio que os cientistas buscarão explicações baseadas em Gaia para muitos fenômenos, como a alteração de ciclos climáticos úmidos e secos e a atual distribuição de ouro, ferro, fosfatos e outros minerais. Gaia, significando um corpo com uma fisiologia controlada no sentido celestial-planetário e biológico, é o único nome que pode ao mesmo tempo unir um grupo desigual de cientistas e tornar seus trabalhos

acessíveis para o público internacional. Assim como o corpo humano é nitidamente limitado por pele, diferenças de temperatura, química do sangue e um esqueleto de fosfato de cálcio, a Terra se diferencia de seus arredores pela atmosfera sempre anômala, a temperatura estável e as incomuns rochas de calcário e graníticas. Lovelock compara a química da atmosfera da Terra a um castelo de areia em uma praia ou um ninho de passarinho. Eles também são produtos evidentes da vida. A superfície do planeta não é apenas física, geológica e química, ou somente geoquímica. Na verdade, é geofísica: ela mostra os atributos de um corpo vivo composto do conjunto da vida terrestre sempre interativa.

A química fisiológica, que chamamos de metabolismo, é resultado da atividade dos seres vivos. A questão de até que ponto os sistemas químicos de Gaia estão interligados permanece em aberto. A "Gaia fraca" sustenta que o ambiente e a vida estão acoplados; eles coevoluem. Poucas pessoas discordam. Muitos cientistas acham que essas ideias não são novas. A "Gaia forte" afirma que o planeta e a vida, formando um só sistema vivo, são regulados em certos aspectos por essa mesma vida.\* Essa é a ideia que gera o escárnio de alguns biólogos, sobretudo os que se autodenominam

\* A diferença entre estas duas perspectivas de Gaia reside no papel que os sistemas biológicos possuem em determinar o funcionamento do planeta. Em "Gaia fraca", a vida é reconhecida como importante na formação da Terra; em "Gaia forte", esta influência é tamanha a ponto de controlar processos tais como o papel das placas tectônicas no controle do clima global. Há cada vez mais evidências sobre o papel que a vida exerce na dinâmica planetária como um todo, incluindo processos físicos e químicos. No entanto, o limiar que sustenta o predomínio de "Gaia fraca" e "Gaia forte" ainda permanece em debate. (A.P.)

neodarwinistas. Liderados por Richard Dawkins, da Oxford University, esses cientistas rejeitam a ideia de um sistema planetário unificado que não evoluiu por meio da seleção natural com outros sistemas planetários. Lovelock, que foi acusado de ter sido inconstante, afirma nunca ter deixado de lado a "Gaia forte", termo cunhado por J. Kirschner, cientista-filósofo da Universidade da Califórnia em Berkeley. No encontro da *Chapman Conference of the American Geophysical Union*, realizado em 1988, Kirschner ridicularizou a "Gaia forte" logo após tê-la defendido sarcasticamente. Você pode ler sobre a feroz reação de Kirschner e de todos os outros a Gaia e sua filosofia no relatório do encontro, organizado por Schneider e Boston.<sup>4</sup> Lovelock admite, contudo, ter abandonado sua ideia original de que Gaia é "teleológica". Ele não mais afirma que o sistema planetário vivo age em conjunto a fim de otimizar as condições para todos os seus membros. A biodiversidade é uma condição essencial à continuidade de Gaia. Não existe uma espécie mais favorecida. Cada organismo cuida de sua vida: cresce e tenta se reproduzir. As pressões seletivas, a persistência dos organismos em se desenvolver e se reproduzir, favorecem alguns tipos de vida sob certas condições específicas. Eles crescem, espalham-se, removem resíduos e fazem reciclagem. Ao fazê-lo, colocam grandes pressões seletivas sobre tipos de vida diferentes. Gaia é o resultado. Se não houvesse vida, a temperatura e a composição gasosa seriam previsíveis com base somente em fatores físicos. A produção de energia do Sol e as regras da química e da física determinariam as propriedades da superfície da Terra. No entanto, essas propriedades divergem significativamente das previsões baseadas apenas na física

e na química. As ciências não biológicas não bastam para explicar o ambiente superficial da Terra. Quando os papéis multifacetados dos organismos vivos que produzem gases e alteram a temperatura são levados em conta, as disparidades desaparecem. A teoria Gaia é uma ciência digna do nome.

Qualquer ideia nova gera críticas, sobretudo na ciência, onde a crítica é institucionalizada pela publicação de pesquisas de colegas e repetição de experiências. A ideia de Gaia requer que geólogos, geoquímicos, cientistas da atmosfera e até meteorologistas entendam a ciência além de seus campos de atuação. Eles precisam estudar biologia, em especial a microbiologia. Mas o *apartheid* acadêmico semeia a resistência. A aceitação de Gaia acarreta atitudes que as pessoas de campos relacionados estão pouco dispostas a tomar.

Não há nada de novo em Gaia a não ser o nome, afirmam alguns críticos. Outros dizem que a suposição de que a superfície da Terra está viva é tão ampla que não pode ser testada. Não necessariamente: se definirmos a vida como um sistema reprodutor capaz de efetuar seleção natural, então Gaia vive. A maneira mais fácil de ver isso é por meio de uma experiência simples. Imagine que uma nave espacial levando micróbios, fungos, animais e plantas é enviada a Marte. Suponha que ela produza seu próprio alimento e recicle seus resíduos e assim continua por duzentos anos. Gaia é o sistema de reciclagem da vida como um todo; uma Gaia teria brotado de outra, gerando duas, e a elaboração de tal Gaia em miniatura representaria uma reprodução de facto. O livro *Biospheres*, de Dorion Sagan, explica isso com clareza.<sup>5</sup>

Outra crítica à teoria Gaia demonstra os medos dos cientistas. Na opinião de alguns críticos, o fato de a teoria

Gaia se afinar com antigas crenças na Mãe Terra parece torná-la perigosamente não científica. Eles dizem que nenhum ser planetário pode agir de forma consensual se não tiver controle consciente. Como o planeta sabe quando elevar ou reduzir a concentração de oxigênio atmosférico para mantê-la em torno de 20 por cento? Esse nível paira entre o risco de haver um incêndio global e o da morte generalizada por asfixia. Como Gaia consegue “planejar” a eliminação de saldos oceanos a fim de salvar seus habitantes de um nível amador de salinidade? De que maneira “ela” consegue esfriar todo o corpo para compensar a crescente luminosidade do Sol? Como é possível que saiba regular a cobertura de nuvens sobre o oceano em função da temperatura? Quem é essa tal de Gaia, afinal?

Lovelock responde que Gaia não precisa de consciência para se ajustar ao ambiente planetário. Trabalhos recentes na área da matemática chamada geometria dos fractais mostram o que é ter imagens rebuscadas traçadas não por um artista com uma ideia pronta, mas por repetições de etapas simples de computação denominadas algoritmos. A vida produz “desenhos” fascinantes de modo similar, repetindo os ciclos químicos de seu crescimento e reprodução celulares. A ordem é gerada por atividades repetitivas e não conscientes. Gaia, como a rede entrelaçada de todas as vidas, está viva, atenta e consciente em vários graus, em todas as suas células, corpos e sociedades. De forma semelhante à propriocepção, os padrões de Gaia parecem ter sido planejados, mas ocorrem na ausência de qualquer “chefe” ou “cérebro” central. Assim como a autoconsciência, a propriocepção

evoluiu muito antes da evolução dos animais, e muito antes dos cérebros destes. A sensibilidade, a consciência e as reações de plantas, prototistas, fungos, bactérias e animais, cada um em seu ambiente local, formam o padrão repetitivo que é, em última análise, a base da sensibilidade global e da resposta de Gaia “por si mesma”. Com seu colega e ex-aluno de doutorado Andy Watson, Lovelock desenvolveu um modelo em computador denominado “Daisyworld” (“mundo das margaridas”). Eles simulam um planeta, por exemplo, no qual vivem apenas margaridas brancas e pretas. O planeta é exposto à radiação de uma estrela, modelada a partir de nosso Sol, cuja luminosidade aumenta ao longo de milhões de anos. Sem qualquer pressuposto externo, sem sexo nem evolução, sem conjecturas místicas de consciência planetária, as margaridas de Daisyworld esfriam o mundo em que vivem apesar do sol que o aquece.

Os pressupostos são simples. Margaridas pretas tendem a absorver calor e margaridas brancas o refletem. Nenhuma das flores cresce a temperaturas abaixo de 10 graus Celsius e todas morrem acima de 45 graus Celsius. Dentro dessa faixa, as margaridas pretas tendem a absorver calor local e, assim, crescem mais rápido em condições mais frias. As margaridas brancas, uma vez que refletem e perdem mais calor em condições mais quentes, florescem e produzem mais prole. Vamos começar com o mundo das margaridas pretas. À medida que a luminosidade do Sol aumenta, as margaridas pretas crescem, expandindo a área da superfície que ocupam, absorvendo calor e aquecendo os arredores. Conforme as margaridas pretas aquecem uma maior área da superfície de

terra circundante, a superfície em si se aquece, permitindo um crescimento populacional ainda maior. Esse feedback positivo continua até que o crescimento das margaridas tenha aquecido tanto os arredores que as margaridas brancas comecem a excluir as pretas pela força do número. Sendo menos absorventes e mais reflexivas, as margaridas brancas começam a esfriar o planeta. O resultado cumulativo desses efeitos é o aquecimento da superfície planetária quando está mais frio durante a evolução inicial do Sol e depois a manutenção do planeta relativamente frio à medida que a luminosidade solar aumenta. Apesar do Sol cada vez mais forte, o planeta mantém um longo platô de temperatura estável.

Daisyworld foi um momento decisivo para a ciência de Gaia. Stephan Harding, professor do Schumacher College em Devon, Inglaterra, hoje regula Daisyworlds com 23 espécies de diferentes cores, além de herbívoros que comem as margaridas e carnívoros que comem os herbívoros. Esses modelos não revelaram nenhuma relação entre o que é bom para uma determinada espécie e o que é bom para o planeta como um todo. O crescimento populacional de um tipo de organismo pode gerar seu próprio colapso. O que os modelos mostraram foi o esboço matemático de uma sobreposição entre seleção natural e regulação da temperatura global, a qual constitui um exemplo paradigmático do comportamento de Gaia. Os modelos de Harding indicam que os diferenciais de sobrevivência agem reforçando ou mesmo gerando consequências globais. Os biólogos se tornam menos relutantes em abraçar a teoria Gaia. A regulação da temperatura é uma função fisiológica não apenas de Daisyworld,

mas dos corpos e sociedades da vida. Mamíferos, atum, répteis e colmeias regulam suas temperaturas em uma faixa de alguns graus. Como as células das plantas ou abelhas que vivem em colmeias "sabem" como manter a temperatura? Seja qual for a resposta em princípio, as células do atum, do réptil, das abelhas e dos ratos exibem o mesmo tipo de regulação que prevalece por todo o planeta.

Gaia, em toda a sua glória simbiogenética, é inerentemente expansiva, sutil, estética, antiga e de uma sofisticada resiliência. Nenhuma colisão de planetas ou explosão nuclear chegou a ameaçar Gaia como um todo. Até agora, a única forma pela qual nós, seres humanos, provamos nosso domínio é pela expansão. Continuamos a ser atrevidos, brancos e recentes, mesmo à medida que nos tornamos mais numerosos. Nossa resistência é uma ilusão. Será que temos a inteligência e a disciplina de resistir à nossa tendência a crescer sem parar? O planeta não permitirá que nossas populações continuem a se expandir. Populações descontroladas de bactérias, gafanhotos, baratas, ratos e grama sempre entram em colapso. Seus próprios resíduos causam repugnância à medida que resultam em aglomerações e escassez severas. Surgem as doenças, como populações do "outro" que se expandem de forma oportunista. Elas seguem o exemplo de comportamentos destrutivos e desintegração social. Até os herbívoros, quando desesperados, tornam-se predadores cruéis e canibais. Vacas caçarão coelhos ou comerão as crias. Muitos mamíferos jovens disputarão a carne dos companheiros de ninhada. O crescimento excessivo da população gera estresse, e o estresse reduz o crescimento populacional excessivo — um exemplo de ciclo regulado por Gaia.

Nós, seres humanos, somos exatamente como nossos colegas de planeta. Não podemos dar um fim à natureza; só representamos uma ameaça a nós mesmos. A ideia de que podemos destruir todas as formas de vida, inclusive as bactérias que vicejam nos tanques d'água das usinas nucleares ou em dutos ferventes, é absurda. Ouço nossos irmãos não humanos rindo baixinho: "Nós sobrevivemos perfeitamente antes de conhecer vocês, vamos continuar sobrevivendo agora sem vocês", cantam para nós em harmonia. A maioria deles, os micróbios, as baleias, os insetos, as plantas de semente e os pássaros, ainda está cantando. As árvores da floresta tropical cantarolam consigo mesmas, esperando que terminemos nosso desmatamento arrogante para que possam voltar à velha rotina de crescimento. E elas continuarão suas dissonâncias e harmonias muito depois de termos ido embora.

