

Este artigo é a tradução e adaptação da Lição Inaugural proferida pelo autor ao assumir a Cátedra Extraordinária de Física Teórica da Célula na Universidade de Wageningen (Holanda), no dia 19 de Dezembro de 2002. A versão electrónica (em holandês) encontra-se disponível em [http://www.amolf.nl/research/theory\\_of\\_biomolecular\\_matter/](http://www.amolf.nl/research/theory_of_biomolecular_matter/). A tradução é de Paulo Ivo Teixeira, da Faculdade de Engenharia da Universidade Católica de Lisboa.

BELA MULDER  
Wageningen University  
Plant Cell Biology  
Arboretumlaan 4 - 6703 BD - Wageningen  
Bela.Mulder@wur.nl

# QUE VIVA A FÍSICA!

## À minha mãe

*"O conhecimento humano não é luz estéril, sendo em vez disso informado pela vontade e pelas paixões; provêm daí ciências a que poderia chamar-se 'ciências do que se quer'. Não pretendeu ele com isto defender que distorcamos o real com o prisma da emoção. Devemos continuar a aceitar a realidade que se nos oferece e a contá-la tal qual é. Mas o melhor é transmiti-la da mesma forma que a descobrimos, com a mesma vivacidade e a mesma emoção. A natureza e os seus segredos devem estimular tanto a imaginação como a poesia e as fábulas. Para atingir este fim, Bacon aconselhou-nos a usar aforismos, ilustrações, histórias, fábulas - o que quer que seja que comunique aos leitores a verdade de uma descoberta tão claramente como se fora uma imagem. Segundo ele, a mente humana não é um bloco de cera. Num bloco de cera não se pode escrever nada de novo sem apagar o antigo; na mente humana não se pode apagar o antigo a não ser escrevendo o novo".*

E. O. Wilson, acerca de Francis Bacon, em "Consilience", Little, Brown & Co., London, 1998

Com a escolha deste título, foi minha intenção colocar em destaque tanto a Física como a vida. Porque a poucos terá escapado que as Ciências da Vida atravessam momentos de grande euforia festiva: a chamada "descodificação" do genoma humano foi notícia de primeira página em todo o mundo e já se chama ao recém-chegado século XXI o "Século da Biologia". Não surpreende portanto que a Física queira, também ela, sentar-se a esta mesa tão generosamente garantida. Resta saber se o fará como convidada de honra ou como intruseta.

## CIÊNCIA MORTA?

Para que este dilema possa ter uma resolução feliz, importa que deixemos primeiro para trás algumas angústias do passado. Nos meus tempos de escola, e talvez também nos do leitor ou leitora, era ainda corrente definir-se a Física como "o estudo das transformações da matéria inerte" (Schweers)<sup>1</sup>. Um tal ponto de partida não augura nada de bom para o êxito social do físico junto dos biólogos. Uma outra potencial dificuldade é o clima outonal que se vive na Física desde os finais do milénio: a convicção de que os problemas mais importantes foram já resolvidos e de que todas as questões que restam dirão porventura respeito quer ao muito grande – a estrutura do Universo em larga escala – quer ao muito pequeno – o comportamento da matéria e do espaço à escala de Planck, que é mesmo muito pequena –, que dificilmente seremos capazes de encontrar-lhes verdadeiras respostas. Como que para piorar ainda mais as coisas, as gerações mais jovens parecem estar a virar as costas à Física: nos últimos anos, o número de alunos que iniciam cursos de Física na Holanda caiu em cerca de 50 por cento. O tecno-charme dos *rocket scientists* da Guerra Fria dá sinais de estar mesmo a desvanecer-se.

Mas lamúrias, por definição, não levam a nada. Para além disso, a minha experiência pessoal enquanto físico entre biólogos tem-me proporcionado uma perspectiva muito mais optimista. Defenderei aqui que o contacto com as Ciências da Vida vai revitalizar a Física, colocar-lhe novos desafios e reafirmar – não ameaçar – o seu papel como uma das disciplinas-base de que dispomos para compreendermos o mundo que nos rodeia.

Começemos por confrontar o problema espinhoso da relação entre a Física e a morte. Efectivamente, muitos são aqueles a quem Física sugere a imagem de balas percorrendo trajectórias matematicamente precisas. Trata-se logo à partida de um exemplo duplamente infeliz: não só porque é difícil entusiasmar-nos com ele, como também e sobretudo pelo facto de aludir ao que se poderia eufemisticamente chamar o triste papel desempenhado pelos físicos ao longo de toda a história dos armamentos. Não nos consolemos pensando que a maior ameaça que paira sobre a humanidade provém actualmente da guerra biológica; tal constatação deve, sim, servir para lembrar a todos os cientistas que a torre de marfim não existe, que a ciência faz parte do processo social e que não pode por isso demitir-se das suas responsabilidades. Mas adiante.

Para nos libertarmos de vez da imagem fria da Física como estudo da matéria inerte, recordemos o ditado: "O que interessa é o jogo, não é a bola". Eis-nos chegados ao que deve ser aquilo que a Física nos ensinou de mais profundo: que existem leis que governam a matéria de que o nosso universo é feito. Voltando ao nosso exemplo: não são tanto a bala e a sua trajectória que são importantes, mas sim o facto de existirem leis que regem essa trajectória. Não há dúvida que a Física moderna principiou no momento em que Newton teve a extraordinária intuição de que existem tais leis, de que elas são passíveis de formulação matemática, e de que funcionam de forma inteiramente "democrática": as leis da gravitação e do movimento aplicam-se a todos os corpos com massa. Estas leis descrevem não só a trajectória de uma bala como as órbitas dos planetas em torno do Sol, sendo até – pelo menos em princípio – capazes de dar resposta definitiva ao problema que há muito atormenta a humanidade: saber por que é que uma torrada cai sempre no chão com a manteiga para baixo. É esta crença numa regularidade por trás da aparência de desordem que sustém o cientista na sua busca de compreensão.

Outra descoberta importante que devemos a Newton (e não só a ele) é que a intuição humana nem sempre é o melhor guia para a verdade do mundo que nos rodeia. Poder-se-ia pensar que não precisaríamos que Newton no-lo dissesse: é o que a vida repetidamente nos ensina. Refiro-me, porém, não à "condição humana", mas sim à "condição da matéria". Ninguém pode levar Aristóteles a mal quando este afirma que "nada se move sem um motor, e o estado natural da matéria terrena é o repouso". Ora aqui está um excelente resumo do nosso conhecimento intuitivo acerca dos fenómenos mecânicos, apurado pela experiência quotidiana que todos partilhamos. Só que na verdade passa-se exactamente o oposto: "Nada atinge o repouso sem um agente retardador, e o estado natural da matéria é o movimento". Para perceber isto, precisamos de ser capazes de, num certo sentido, ver para além das

ilusões da realidade. E é precisamente isto que torna a ciência tão excitante: o mundo é muito mais surpreendente do que parece à primeira vista. Em resumo: fora com as balas chatas, venham as leis interessantes.

Nem todos se sentem à vontade face ao papel fundamental desempenhado pelas leis universais. Há quem tema o espectro do determinismo; a ideia de que tudo se encontra predeterminado e de que não há, portanto, lugar para o livre arbítrio. Primeiro eram só as balas que se comportavam de maneira entediantemente regular; agora já é todo o Universo que parece não passar de um mecanismo de relojoaria. É certo que o post-newtoniano ferrenho Pierre Simon Laplace<sup>2</sup> (1749-1827) exclamou certa vez: "Dai-me as posições e velocidades de todas as partículas do cosmos e saberei calcular o vosso futuro". Que esta ideia tem no mínimo limitações práticas pode concluir-se do facto de nada na biografia de Laplace sugerir que ele tenha enriquecido rapidamente a jogar na bolsa, tendo em seguida levado uma vida de ócio opulento. O problema são três pequenas nuvens que Laplace ignorou, arrebatado como estava pelo seu entusiasmo tão desculpavelmente humano.

1. O "Dai-me": tudo o que a Natureza nos dá, paga-se. Para saber algo, o cientista tem de efectuar medidas. Ora não é possível medir o que quer que seja com precisão infinita. Os erros que daí resultam limitam o rigor das previsões que é possível fazer. Isto sem falar já das limitações de princípio que a mecânica quântica impõe à nossa capacidade de conhecer o "estado das coisas", quer através das relações de incerteza, quer através do tratamento probabilístico que faz dos fenómenos.

2. O "todas": o cosmos é muito maior do que Laplace alguma vez imaginara. Sabemos, além disso, que a matéria é composta por átomos e moléculas. O número de moléculas de H<sub>2</sub>O num copo de água é tão grande que, se as contássemos ao ritmo de uma por segundo, fazendo um risco numa folha de papel, precisaríamos de milhões de milhões de milhões de anos e de uma resma de papel com um trilhão de quilómetros de altura. A ciência exige algum trabalho de "seca", mas não tanto!

3. O "calcular": os cálculos necessários podem em princípio ser complicados ao ponto de não serem exequíveis na prática e de ser mais proveitoso simplesmente esperar que o futuro aconteça do que tentar prevê-lo. Foram já construídos modelos matemáticos com regras surpreendentemente simples que têm, no entanto, esta mesma propriedade. Se algumas das leis da natureza pertencerem a esta categoria, conseguir-se-á escapar ao determinismo. Não teremos maneira de saber se o futuro é pré-determinado ou não: ele é o que for.

Encontramos na nossa vida quotidiana muitos mais exemplos de que a existência de regras bem definidas não

conduz necessariamente a um determinismo cego. Pensemos no jogo do xadrez, cujas regras se podem resumir em meia página de formato A4. E, contudo, aqui está um jogo que há séculos fascina a humanidade e ao qual os computadores só agora se tornaram não mais do que sérios concorrentes. Ninguém acredita seriamente que já tenham sido jogadas todas as partidas de xadrez possíveis e que já não valha a pena jogar mais porque não haverá mais surpresas. Um outro exemplo que me é muito querido, e que foi brilhantemente posto em destaque na Lição Inaugural do meu colega do Laboratório de Física Atómica e Molecular (AMOLF), Albert Polman<sup>3</sup>, é a música. Embora as notas sejam bem conhecidas e se ensine harmonia há muito, não está para breve o dia em que a música deixe de nos surpreender e maravilhar.

## CIÊNCIA VIVA

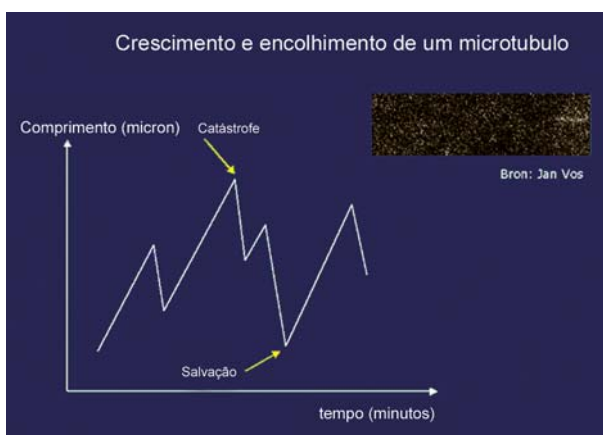
Depois deste extenso enquadramento da imagem estereotipada da Física como ciência do movimento mecânico de esferas rígidas num universo frio, é chegada a altura de referir o maior milagre que a matéria e as leis que a regem alguma vez produziram: a vida. O século XX foi palco de muitas descobertas, mas, na minha opinião, nenhuma tão duradoura nem com potencialmente maior impacto do que o desvendar da base molecular da vida. Se compararmos a dinâmica inimaginavelmente complexa da vida com a nossa velha amiga, a trajectória de uma bala, compreenderemos facilmente por que razão se acreditou durante séculos ser necessário um ingrediente adicional para tornar viva a matéria inerte. São disto exemplos o "pneuma" dos antigos gregos, a "chama sagrada" da tradição cristã, ou a "força vital" (*vis vitalis*) presente, nas mais variadas formas, em muitas tradições filosóficas ou espirituais.

Graças ao desenvolvimento explosivo da Bioquímica e da Biologia Molecular nos últimos 50 anos, sabemos hoje sem margem para dúvidas que o *hardware* da vida são as moléculas, ao passo que o *software* reside no material genético. Correndo o risco de chocar os leitores, direi que aquilo a que chamamos "vida" é a execução pela maquinaria molecular auto-agregada e auto-replicativa de um programa gravado no DNA. Voltando ao tema de abertura: a vida é uma festa! Os convidados são átomos e moléculas entregues a um frenesim de *polonnaises*, danças em linha, valsas, *quicksteps*, *hip-hops* e quadrilhas à moda antiga, com trocas incessantes de parceiros. Ironicamente, a energia necessária a esta festa vem-lhes, directa ou indirectamente, de uma "central nuclear" situada, não à nossa porta, mas felizmente à distância segura de oito minutos-luz, no centro do sistema solar.

Segue-se igualmente de todos estes desenvolvimentos que a Física tem um papel natural a desempenhar no seio das Ciências da Vida com base molecular. A minha área, a

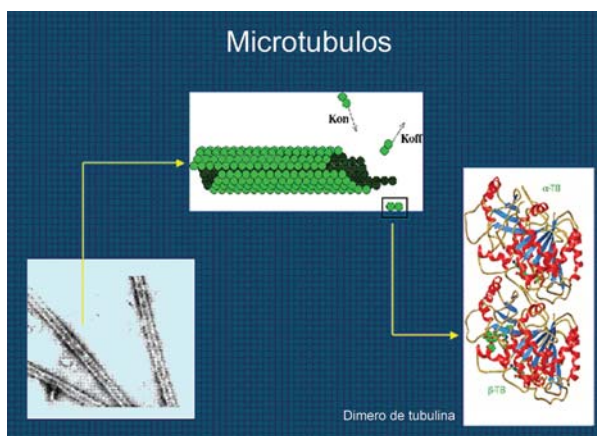
Física Estatística, estuda de que forma grandes grupos de moléculas se organizam, quer espontaneamente, quer sob a acção de estímulos externos, para formar estruturas com propriedades que muitas vezes não seriam de adivinhar a partir das dos seus constituintes. Também aqui se verifica que o todo é mais do que a soma das partes. Leis simples aplicadas a peças igualmente simples podem por vezes dar azo a comportamentos surpreendentemente complexos.

### INTERMEZZO: MICROTÚBULOS

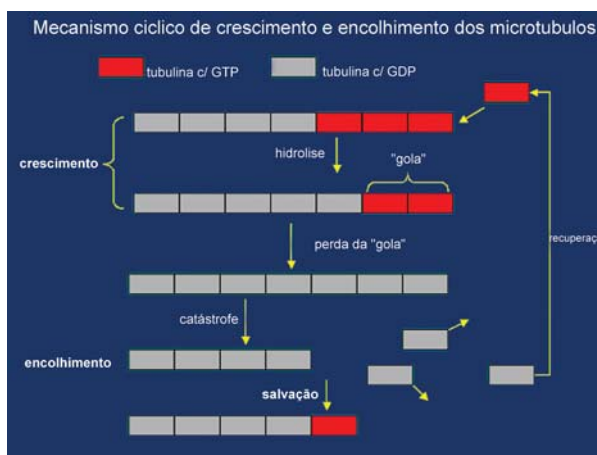


Eis um exemplo: com o meu primeiro estudante de doutoramento, Catalin Tanase, e em estreita colaboração com a minha colega do AMOLF Marileen Dogterom, investigámos a dinâmica dos microtúbulos (*microtubuli*)<sup>4</sup>. Os microtúbulos são um dos constituintes do citoesqueleto, nome colectivo pelo qual é conhecido um conjunto de moléculas de grandes dimensões que ocorrem tanto em células vegetais como animais. Tornar a célula rígida é apenas uma de muitas funções que estas moléculas desempenham. A designação "esqueleto" não será porventura particularmente feliz, uma vez que traz à ideia os nossos próprios ossos. O citoesqueleto é na verdade um todo altamente dinâmico; os microtúbulos, por exemplo, estão constantemente a formar-se e a quebrar-se, no que felizmente os nossos ossos não se lhes assemelham. Esta capacidade que os microtúbulos têm de crescer e de se retrair devem-na ao facto de serem feitos de um grande número de unidades idênticas, os chamados dímeros de tubulina. Um dímero de tubulina isolado costuma "dar boleia" a uma molécula de GTP, muito mais pequena do que ele. Dímeros de tubulina com este "pendura" têm tendência para formar longas fibras, ditas protofilamentos, que por vezes se colam umas às outras. Treze destes protofilamentos formam um microtúbulo – um tubo oco microscópico com 25 nm de diâmetro e comprimento que pode facilmente atingir muitos microns. Uma vez instaladas no conforto e segurança dos microtúbulos, as moléculas-penduras de GTP decompõem-se espontaneamente em moléculas de GDP por hidrólise. Ora, um dímero de tubulina com uma molécula de GDP já não se sente bem a fazer parte

de um microtúbulo e quer ir-se embora. A coesão do microtúbulo deve-se unicamente à chegada constante de novos dímeros de tubulina transportando GTP não decomposto.



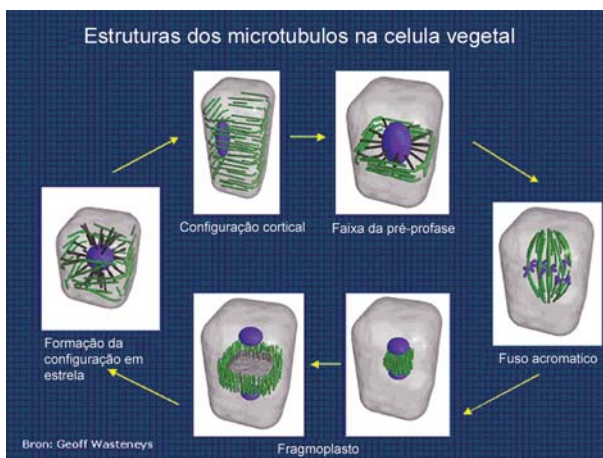
Se este equilíbrio for perturbado por um processo aleatório, pode bem suceder que o microtúbulo comece como que a desenrolar-se, a partir do topo: uma catástrofe. Também pode suceder o oposto: o equilíbrio restabelece-se e o microtúbulo cresce novamente: a salvação.



A vida de um microtúbulo tem, portanto, os seus altos e baixos. E, no entanto, é precisamente graças a esta sua dinâmica singular que a célula pode utilizar os microtúbulos como materiais multifuncionais temporários – uma espécie de Lego da vida. São disto belas ilustrações as variadas estruturas de microtúbulos que as células vegetais constroem durante o seu ciclo reprodutivo. No diagrama podem ver-se os microtúbulos como pequenos bastões verdes e a púrpura o material genético. Vê-se em seguida a estrutura ainda fracamente ordenada que surge imediatamente após a divisão comandada a partir do núcleo; a configuração cortical paralela presente durante a expansão na interfase; a faixa da pré-profase momentos antes da divisão; o fuso acromático durante a divisão; e dois instantâneos do desenvolvimento do fragmoplasto, a maquinaria que constrói a parede entre as duas células descendentes. Se todos estes termos lhe fazem confusão,



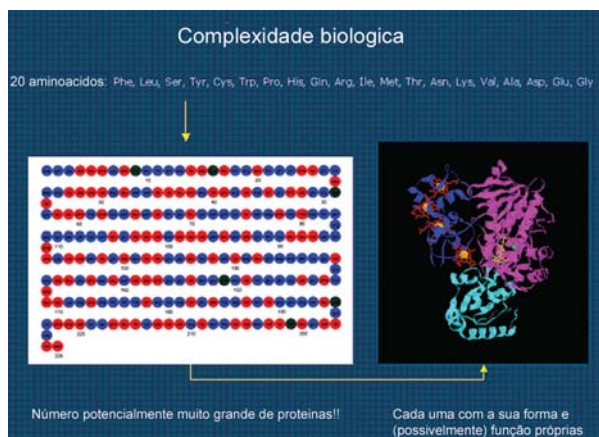
começa a compreender as dificuldades que senti ao iniciar-me na biologia das células vegetais. A riqueza da matéria viva manifesta-se numa tal abundância de fenómenos e de conceitos que quase nos desperta saudades das trajectórias das balas. E, no entanto, é o simples mecanismo de adesão dos dímeros de tubulina uns aos outros, porventura auxiliado por outras proteínas, quer activas, quer passivas, o responsável por estas estruturas e pelas transições entre elas. Iniciámos um projecto de vários anos, em colaboração com colegas da Universidade de Wageningen, da Universidade de Amsterdão e do AMOLF, com a finalidade de esclarecer a transição da configuração cortical para a mesofase. Por enquanto levantámos apenas uma ponta do véu, mas estamos convencidos de que comportamentos complexos não são necessariamente insondáveis.



### FÍSICA E BIOLOGIA: PARCEIROS NATURAIS?

É agora a altura propícia para regressar ao tema da atmosfera pesada que paira sobre a Física nos dias que correm. Conforme já disse, a Física busca os seus desafios derradeiros tanto nos altos céus como no interior da matéria, junto às mais pequenas partículas. A Física assemelha-se nisso um pouco à descrição feita no Relatório Hite sobre a sexualidade humana que tanto deu que falar nos anos 70: "Sabemos mais acerca do que se passa na superfície da Lua do que 15 centímetros abaixo dos nossos umbigos" (Hite)<sup>5</sup>. Talvez que haja novas e férteis áreas de investigação muito mais próximo do que pensávamos, mas que só um desenvolvimento noutra campo pode revelar. Todos sabemos o que são números astronómicos. Hans Frauenfelder, que transitou para a Biofísica já num estágio avançado da sua carreira, disse porém certa vez que tais números nada são, comparados com aquilo a que chamou números biológicos. Tome-se como exemplo uma proteína típica, uma das bestas de carga da matéria viva. Uma proteína é feita de unidades mais pequenas, chamadas aminoácidos. Existem exactamente 20 tipos de aminoácidos na natureza. Uma proteína típica contém cerca de 100 aminoácidos. Quantas proteínas desse

tamanho se podem então fazer com as 20 peças de que dispomos? Um cálculo rápido diz-nos que são  $2^{100}$ , um número com cerca de 130 algarismos que é imensamente maior do que a quantidade total de partículas elementares existentes no Universo. É nesta complexidade inexorável que reside o imenso desafio que é encontrar a relação entre a composição de uma proteína, a sua configuração espacial, e a função que desempenha na célula. Há portanto trabalho que chegue nas Ciências da Vida, até para os físicos.

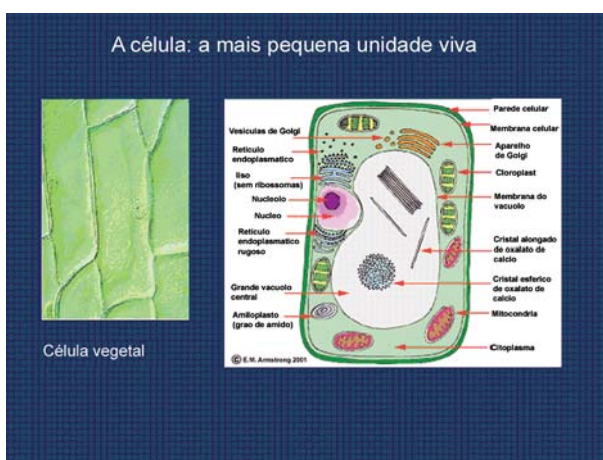


Ao iniciar uma relação mais íntima com as Ciências da Vida, a Física está de certa forma a retomar uma tradição antiga. Na altura em que Aristóteles escreveu a sua "Physica" (de onde vem a palavra Física), não se faziam distinções entre disciplinas dentro das Ciências Naturais. Este estado de coisas sobreviveu durante muito tempo na expressão "Filosofia Natural", corrente na Idade Média e no Renascimento. Embora Newton tenha dado ainda à sua mais importante obra o título "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural"<sup>6</sup>, essa mesma obra precipitou um cisma. Após Newton, as ciências de base matemática – a Física e a Astronomia – começaram a afastar-se cada vez mais das outras. O elevado grau de especialização que hoje conhecemos é consequência da Revolução Industrial e da racionalização do ensino, da investigação e da produção que a acompanhou. E, no entanto, sempre houve laços entre a Física e as Ciências da Vida. Efectivamente, foi o físico von Helmholtz (1821-1894) o fundador da Fisiologia e, portanto, também o pai da Biofísica, o ramo da Física que desde há muito se ocupa de questões relacionadas com a Biologia. A nova geração de físicos que se sentem atraídos pela Biologia não precisa por isso de começar do zero.

### PONTO DE ENCONTRO: A CÉLULA

É no domínio da célula que a Biologia e a Física mais naturalmente se encontram. A célula é a unidade elementar da vida. Embora a nossa vaidade multicelular nos possa tentar a considerar as células apenas aquilo de que somos feitos, a verdade é que, em termos evolutivos, somos

recém-chegados. Nos primeiros 2500 milhões de anos da vida na Terra só existiram organismos unicelulares, os quais constituem, ainda hoje, a maioria dos seres vivos. Por que é que a célula é assim tão importante para o físico? Tudo tem que ver com as dimensões típicas das moléculas e das células. Uma molécula tem dimensões da ordem de um nanómetro. Um nanómetro é um milionésimo de milímetro. Os organismos unicelulares mais simples, as bactérias, têm dimensões da ordem do micrón, que é um milésimo de milímetro. Grosso modo, uma bactéria contém, portanto, cerca de um milhão de moléculas. Um número indubitavelmente grande, mas concebível. As células vegetais e animais são decerto maiores do que as bactérias, mas salvo raras excepções continuam a ter dimensões microscópicas. A maior parte das estruturas intracelulares são suficientemente grandes para não se notar (muito) que são feitas de moléculas discretas. Por outro lado, são suficientemente pequenas para poderem ser afectadas por acontecimentos à escala molecular. É precisamente por ser "mais pequeno que uma toalha, mas maior que um guardanapo" que o domínio celular interessa ao físico. Tradicionalmente, a Física descreve bem, por um lado moléculas isoladas, por outro materiais a escalas de comprimento muito maiores que as moleculares. Para compreender o intervalo que medeia entre estes dois limites, é necessário desenvolver novas técnicas e novas teorias. As moléculas e os agregados que elas formam dentro das células encontram-se perpetuamente em movimento. Na origem deste movimento está em parte aquilo a que chamamos calor, e em parte a queima concertada de "combustível" molecular. É fascinante interrogarmo-nos como é que uma célula num estado tão desordenado e aparentemente caótico consegue, ainda assim, ter uma função bem definida e desempenhar certas tarefas com fantástica precisão.



O meu primeiro encontro com a Biologia foi-o também com a célula, embora eu tenha começado do lado de fora. Foi com uma pergunta mais ou menos casual da bióloga celular Anne Mie Emons, que eu então não conhecia de todo, acerca da possível relação entre os cristais líquidos e a estrutura da parede celular, que se iniciou

este *affaire* científico. Confesso que houve alturas em que lancei olhares gulosos, por exemplo à Microbiologia; mas mantive-me fiel a este primeiro amor. E foi assim que vim parar ao Laboratório de Biologia da Célula Vegetal em Wageningen.

Talvez que o tom algo filosófico deste texto tenha dado a impressão de que passo os meus dias embrenhado em profundas reflexões sobre os aspectos físicos da origem e da natureza da vida. Se assim for, permita-se-me que desfaça de imediato esse mal-entendido. Todas as viagens têm um primeiro passo, e em ciência é comum os passos serem muito modestos. Fazer ciência é em parte um pouco como fazer artesanato: trabalha-se numa pequena peça até ela estar perfeita.



### INTERMEZZO: CRESCIMENTO DAS RAÍZES

Para dar ao leitor(a) um cheirinho daquilo que faço, deixe-me levá-lo ou levá-la a um dos meus lugares favoritos na célula vegetal: o ápice vegetativo. Só alguns tipos de células vegetais o têm. Limitar-me-ei aqui a falar dos chamados pêlos radiculares – longas protuberâncias unicelulares das células mais exteriores das raízes das plantas. Estes pêlos são os postos avançados da planta: aumentam a área através da qual podem ser absorvidos nutrientes, fixam a planta mais firmemente no solo e trocam sinais químicos com o meio ambiente. O mecanismo de crescimento dos pêlos radiculares é muito semelhante ao funcionamento das "toupeiras mecânicas" actualmente utilizadas para escavar túneis de metropolitano. A maquinaria de crescimento situa-se na região mais exterior da célula, a qual se desloca lentamente para fora, deixando atrás de si uma cavidade tubular. Como é que isto se dá? A célula produz pequenas bolsas, as vesículas de Golgi, que são transportadas até ao ápice vegetativo por proteínas motoras, ao longo de um "circuito" de polímeros do citoesqueleto expressamente construído para o efeito. Depois de algum tempo em "lista de espera" no destino, estas

vesículas fundem-se com a parede celular através de um processo denominado exocitose: o seu conteúdo passa a fazer parte desta parede. A parede celular é como que o "espartilho" auto-agregado da célula vegetal, que lhe confere a maior parte da sua rigidez. No passado, tentou-se modelar este notável processo de crescimento esquecendo sempre que ele é essencialmente de natureza física. Para se dar crescimento é preciso exercer forças e deslocar material da membrana celular. Além disso, as propriedades desse material alteram-se, quer devido à chegada de novo material, quer ao lento "endurecimento" do que já lá se encontra - qual prato de esparquite cujos fios se pegam cada vez mais uns aos outros. A forma final da extremidade do pêlo radicular e o diâmetro da célula dependem de modo subtil da conjugação de todos estes efeitos.

Encontro-me presentemente a trabalhar num modelo global deste processo, em colaboração com o meu ex-colega do AMOLF, Norbert Kern.

Isto por si só já constitui boa Física Biológica. Mas é mais do que isso: é a porta de entrada para um problema muito mais importante, tendo a ver com a relação simbiótica entre algumas plantas, da família das leguminosas, e bactérias que vivem no solo. Desta simbiose resulta a formação de "botões" nas raízes destas plantas, onde as bactérias fornecem azoto à planta em troca de alojamento e alimentação. É como se a planta se adubasse a ela mesma, o que é muito bom, tanto para ela como para quem a cultiva.



Esta colaboração entre bactéria e planta é um tema de investigação extremamente actual: institutos inteiros ocupam-se dele. Quanto a nós, estamos sobretudo interessados no primeiro contacto entre os simbiontes. O pêlo radicular exala uma substância que induz as bactérias a emitir um sinal químico, designado abreviadamente por "factor de nodulação", ou seja, de formação de botões. Se mais tarde um pêlo radicular em crescimento entrar em contacto directo com uma destas bactérias "activadas", o factor de nodulação que a distingue será detectado por "antenas químicas" situadas na membrana celular das células do pêlo, tendo como resultado que este se curve,

formando uma cavidade oca para albergar a colónia de bactérias (a bactéria inicial multiplicou-se entretanto por divisão celular). Esta cavidade, a que também se chama (em sentido figurado) "cajado", é a base de onde as bactérias partem para lançar a sua invasão da raiz da planta.

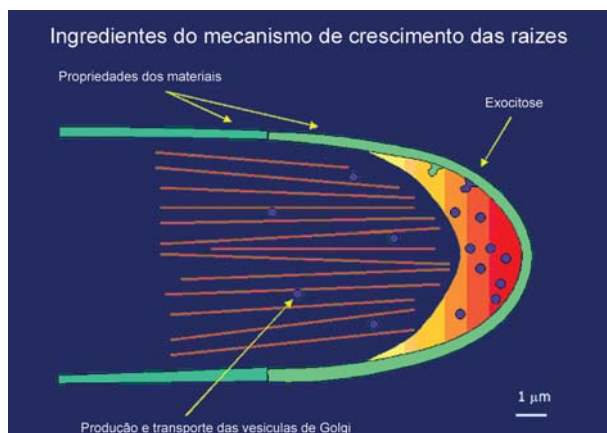


É igualmente possível fazer o pêlo radicular curvar-se de forma controlada no laboratório, como se pode ver na série de imagens obtidas pelo meu colega John Esseling do Laboratório de Biologia da Célula Vegetal, em Wageningen. Se, com uma minúscula agulha, colocarmos uma pequena gota de solução, contendo apenas algumas moléculas de factor de nodulação, junto a um pêlo radicular, este desenvolve um só "cotovelo". O nosso objectivo último é compreender como se dá o encurvamento.

É também no domínio da célula que está a dar-se uma alteração decisiva no modo de fazer Biologia: utilizam-se cada vez com maior frequência modelos matemáticos. As modernas técnicas de investigação bioquímica fornecem tantos dados sobre tantas substâncias diferentes presentes na célula que já não é possível uma abordagem tradicional em termos de causa e efeito. Este desenvolvimento deu origem a campos inteiramente novos, como por exemplo a Bioinformática. Há mesmo quem acalente a esperança de que será em breve possível construir um modelo matemático que incorpore a totalidade das interacções entre todos os componentes da célula (*E-cell*)<sup>7</sup>. Um tal modelo seria decerto imensamente complexo, mas talvez esteja já no horizonte, graças às capacidades cada vez maiores dos computadores de que dispomos. Tornar-nos-famos então capazes de, num certo sentido, "calcular a vida". Esta abordagem, quiçá ainda algo futurista, conhecida por Biologia de Sistemas, tem um variado leque de seguidores, entre os quais se contam biólogos, matemáticos, físicos e informáticos, e começa agora a ter algum impacto. Penso igualmente que a própria Biologia Celular vai evoluir no sentido de se tornar mais matemática e quantitativa. É chegada a altura de passar do "quê?" para o "como?". Só assim será possível transitar de uma ciência descritiva para uma ciência explicativa e até previsiva. As novas técnicas – em muitos casos de base física – de que a Biologia Celular



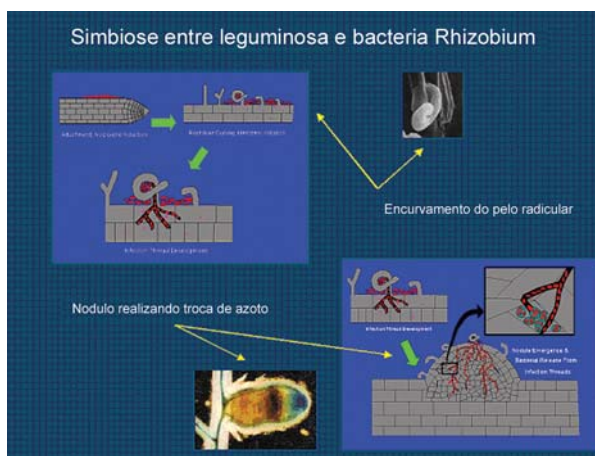
actualmente dispõe para observar os constituintes da célula colocam-na em condições de dar esse passo. Um físico teórico como eu sente-se como peixe na água neste novo mundo – ou talvez seja mais apropriado dizer: como planta em estufa.



### REALITY CHECK

Não levaria a mal o leitor ou leitora que, após esta minha entusiástica defesa do papel da Física nas Ciências da Vida, exclamasse: "Que viva a Física! Ponham os biólogos e os físicos a trabalhar juntos e o problema da vida fica praticamente resolvido!". Impõe-se nesta altura, porém, que não percamos o contacto com a realidade. Para poderem colaborar de forma frutífera, os físicos e os biólogos têm no mínimo de ser capazes de comunicar uns com os outros. Caso contrário, viria muito a propósito o juízo do matemático e artista de *cabaret* Tom Lehrer: "Se não sabe comunicar, o melhor é calar-se"<sup>8</sup>. E é aqui que a porca torce um pouco o rabo. Durante séculos, a Biologia e a Física seguiram caminhos distintos, ao longo dos quais adquiriram culturas e linguagens distintas. E – correndo agora o risco de parecer estar a falar de problemas sociais – a integração, como é sabido, não é tarefa nada fácil. As minhas experiências pessoais neste campo não são muito representativas, uma vez que tive a sorte de poder desenvolver a minha relação com a Biologia a pouco e pouco, no seguimento de um primeiro encontro espontâneo e descontruído. Durante este processo, que se estendeu por vários anos, fui desenvolvendo uma língua comum, primeiro com Anne Mie Emons, depois com outros colegas biólogos. Só que o tempo destes amores inocentes acabou no momento em que aqueles que têm poder para tomar decisões em matéria científica ficaram obcecados com a colaboração entre a Física e a Biologia (e, entre parênteses, também a Química, a Matemática e a Informática). Não posso por isso deixar de tecer aqui algumas breves considerações que talvez ajudem a perceber se estamos perante uma parceria conjugal simbiótica e fértil, ou um estéril casamento de conveniência.

Primeiro: é difícil colaborar com potenciais concorrentes. Grandes programas de estímulo à investigação aos quais podem concorrer independentemente cientistas de diferentes áreas mais não fazem do que reforçar a dicotomia nós/eles. Mais: sempre que tais programas são financiados com dinheiros retirados a outras formas mais antigas de apoio às diferentes disciplinas, não tardam a desencadear-se conflitos tribais alimentados pela inveja.



Segundo: é mais fácil estabelecerem-se colaborações quando as pessoas passam algum tempo juntas. Em muitos países construíram-se institutos inteiramente novos com a finalidade de facilitar a colaboração entre as Ciências Exactas e as Ciências da Vida. Na Holanda não se seguiu esse caminho, sob o pretexto de que num país tão pequeno já andamos todos sempre muito juntinhos. E, no entanto, não me pareceria de todo má ideia criar-se um local onde os praticantes das Ciências Exactas e das Ciências da Vida pudessem partilhar o café e o pão de cada dia, ouvir de passagem as conversas e ver anunciados os seminários uns dos outros. O pessoal de um tal instituto deveria estar sujeito a uma única direcção. Tal como em todas as relações, é melhor passar primeiro uns bons momentos juntos antes de pensar em casamento. No estado actual da colaboração, é porventura ainda demasiado difícil chegar a consensos quanto aos objectivos comuns a atingir.





Terceiro: cuidado com a "banda larga". Investigação na interface das diferentes disciplinas vende bem. Primeiro houve a investigação interdisciplinar, depois a investigação pluridisciplinar e agora a NWO (instituição pública que financia a investigação científica na Holanda) já fala em investigação transdisciplinar. As diferenças entre disciplinas parecem já não ter importância. O perigo reside em que desenvolvimentos deste género se possam traduzir em currículos universitários "largos", formando generalistas com uma visão panorâmica da ciência. Na minha opinião, corre-se assim o risco de educar pessoas que são de facto capazes de compreender os problemas comuns a muitas áreas, mas que não dispõem da bagagem técnica e conceptual necessária para contribuir para a sua resolução. Tenho por isso grande curiosidade em saber como vai a Universidade de Amsterdão implementar o seu plano de uma formação em Ciências Bio-Exactas. A melhor ciência em áreas de interface faz-se quando se juntam os melhores elementos de cada um dos campos. A minha experiência pessoal ensina-me que é difícil prever com antecedência de que partes da Física se vai precisar para resolver um dado problema biológico. O que clama por uma formação "aprofundada" em Física. O título deste artigo é, portanto, também o meu ardente desejo – e é igualmente no interesse de uma boa colaboração com as Ciências da Vida.



Quadro de Henry Julien Rousseau

#### AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Directivo da Universidade e Centro de Investigação de Wageningen, bem como à respectiva Comissão de Acompanhamento, a confiança em mim depositada; a Jook Walraven, ex-director do

AMOLF, por ter apoiado a minha nomeação, à minha colega Marileen Dogterom, graças a quem se desenvolveu a investigação em Biofísica no AMOLF; a Daan Frenkel, meu co-orientador, colega e amigo, pelo exemplo que me proporciona diariamente do que é fazer ciência ao mais alto nível, e por ter contribuído de forma decisiva para que hoje tenhamos um tão bom clima para a investigação; a Anne Mie Emons, chefe do meu grupo de investigação em Wageningen, por me ter atraído para a selva da biologia das células vegetais; aos meus pais, por tudo o que sempre me deram; à minha mulher Katerina, por estar a meu lado; e, finalmente, ao meu filho Charilaos, por todas as perguntas difíceis que me faz acerca da maravilhosa realidade que nos rodeia.

#### BIBLIOGRAFIA

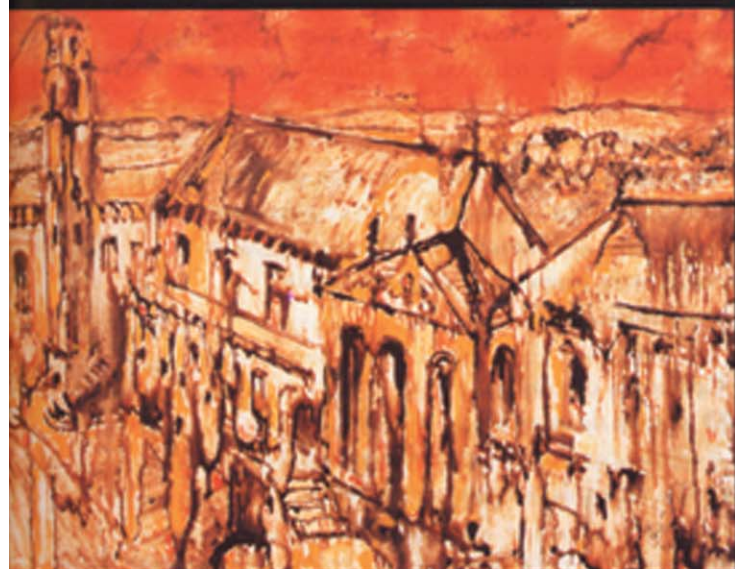
- [1] Schweers. Ver, por exemplo, Schweers, J. e van Vianen, P., *Natuurkunde op corpusculaire grondslag*, parte I (Malmberg, S. Hertogenbosch, 1975).
- [2] Laplace. Nas palavras de Laplace: "Uma inteligência conhecedora, num dado instante, de todas as forças que animam a natureza e das posições momentâneas de todos os seres que a constituem - uma inteligência suficientemente poderosa para analisar todos estes dados - seria capaz de reunir, numa única fórmula, os movimentos dos maiores corpos do universo e do seu mais ligeiro átomo; para ela, nada seria incerto e tanto o futuro como o passado seriam presentes aos seus olhos". Laplace, Pierre Simon de, *A Philosophical Essay on Probabilities* (Dover, New York, 1998).
- [3] Polman, Albert, *Het Optisch Akkoord*, Universidade de Utrecht, 1998.
- [4] Doorn, G. S. van, Tanase, C., Mulder, B. e Dogteron, M., *On the stall force for growing microtubules*, Eur. Biophys. J. 29, 2-6 (2000).
- [5] Hite, Shere, *The Hite report: a nationwide study on female sexuality* (Dell Books, 1976).
- [6] Newton, Isaac, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687; Westfall, Richard, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton* (Cambridge University Press, 1980).
- [7] The E-cell project, <http://www.e-cell.org>.
- [8] Lehrer, Tom, *That was the year that was* (Reprise Records, 1965).

## CENTRO DE FÍSICA DAS INTERACÇÕES FUNDAMENTAIS

Instituto Superior Técnico

- > Projectos de investigação em Física de Partículas, Física Nuclear, Física Hadrónica, Física da Matéria Condensada, Relatividade e Cosmologia, Geometria Diferencial e áreas afins.
- > Teses de Mestrado e Doutoramento com uma formação internacionalmente competitiva.
- > 33 membros doutorados.

Visite a nossa página <http://cfif.ist.utl.pt>



## Centro de Física Computacional

Partículas e Campos  
Matéria Condensada  
Geofísica  
Ensino e História das Ciências

Escola de Física Computacional

Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
3004-516 Coimbra

<http://cfc.fis.uc.pt>  
Tel: 239410600  
Fax: 239829158