CAPÍTULO 6

Memória e Aprendizagem

1. Memória

A memória é freqüentemente definida em termos de aprendizagem, a saber, como sendo a retenção da aprendizagem. Se assim fosse, o estudo da memória deveria ser apenas um aspecto do estudo da aprendizagem — o que não é. Além disso, somente animais capazes de aprender — isto é, dotados de sistemas neurais plásticos — seriam capazes de memorizar incidentes de suas vidas. Mas sabemos que muitos sistemas físicos complexos, tais como uma lâmina de barbear e um magneto, bem como muitos sistemas químicos, têm "memória" de alguns de seus estados passados. Diz-se, nesses casos, que o sistema passa por um processo hereditário de algum tipo. (vejam Bunge, 1977a, Capítulo 5, Definição 5.20.) Devemos, por essas razões, tratar a memória separadamente e mesmo antes da aprendizagem. Uma definição geral é

DEFINIÇÃO 6.1. *Um sistema s no tempo T tem* memória *de* (*ou* memoriza) *alguns de seus estados passados se e somente se o estado de s em T for uma função desses estados passados*.

Um sistema com memória pode, é claro, ser chamado de sistema de memória. As propriedades características de um sistema de memória são essas: (a) registrar ("saber de cor"), (b) "estocar" e (c) lembrar quando estimulado adequadamente. Na realidade, a segunda propriedade pode bem ser imaginária: ao invés de guardar um traço ou engrama de um estado ou evento, o sistema pode (a) adquirir a disposição ou propensão de lembrar o(s) estado(s) ou evento(s) em questão ou então (b) passar por um processo sem saída. Mais sobre isso dentro em pouco.

Uma vez que todos os organismos têm genes e que eles recordam parte da história da espécie, pode-se dizer que todos os organismos têm alguma memória dela, isto é, são sistemas hereditários. Além disso, todos os organismos parecem apresentar ao menos a memória de curto prazo. O quimiotatismo das bactérias é um bom exemplo. Este processo consiste no fato de que as bactérias são capazes de se movimentar em um gradiente de atração (por exemplo, nutriente) para o lado mais atrativo e de se afastar do lado pior em um gradiente de repelência. Elas parecem descobrir a direção certa do movimento conforme vão se movendo, especificamente comparando as concentrações de bcais separados por 20 até 100 comprimentos corporais, de modo que devem ter uma memória de curto prazo. Uma vez que as bactérias são organismos unicelulares primitivos, é mais provável que seu mecanismo de memória seja puramente químico e possivelmente o único que possuem (Koshland, 1977). Quando recebem um sinal, os quimiorreceptores sintetizam um regulador de respostas (que pode ser uma molécula). Este ativa a resposta se o resultado for benéfico e a inibe no caso contrário; esse regulador de respostas se degrada assim que cessa o estímulo. Não obstante qual hipótese se mostre verdadeira, parece que as bactérias realmente usam memória para controlar seu comportamento.

O que vale para a memória das bactérias deve valer para todos os animais: caso contrário eles seriam incapazes de sobreviver o bastante para se reproduzir. A memória, então, parece ser universal na família dos animais. Da mesma forma que o esquecimento, ou o apagamento dos "traços" de memória. Assim, podemos assentar o

POSTULADO 6.1. *Todos os animais têm memória de alguns de seus estados passados e nenhum tem memória de todos eles.*

Existe provavelmente uma grande variedade de sistemas ou mecanismos de memória. Estamos interessados em duas classes deles: sistemas fixos e sistemas transitórios. Enquanto os invertebrados e vertebrados inferiores provavelmente têm apenas sistemas fixos de memória, os vertebrados superiores também têm sistemas transitórios de memória, isto é, sistemas que são formados apenas para a ocasião. O modelo de Young de sistema fixo de memória é um bom candidato para a primeira categoria (Young, 1965). De acordo com este modelo, o sistema de memória é composto por numerosas unidades ou módulos de memória (mnemônios). Cada um desses módulos, por sua vez, consiste dos seguintes componentes: um neurônio classificador que classifica os eventos detectados (por exemplo, em bons, maus e indiferentes), células de memória e células motoras (que controlam o comportamento). Por exemplo, no polvo, cujos principais movimentos são de ataque e retirada, o mnemônio poderia ser como na Figura 6.1. Se os invertebrados, ou mesmo todos os animais (como acredita Young), se lembram ou não dessa maneira, eles todos "estocam" eventos passados *em suas memórias*, para não dizer *em suas mentes*: se estocam, seja lá o que for, é em seus SNCs.

Mudemos agora dos invertebrados para os vertebrados e, especificamente, os humanos. Existem muitos modelos de memória dos vertebrados. Parece que todos caem em uma das quatro seguintes categorias:

(1) *Modelos de estocagem*
  (1.1) Engramas ou traços localizados.
  (1.2) Inscrição global ou holográfica.
(2) *Modelos dinâmicos*
  (2.1) Fortalecimento ou enfraquecimento de conexões fixas.
  (2.2) Fortalecimento ou enfraquecimento de conexividades sinápticas, isto é, disposições para formar conexões semelhantes.

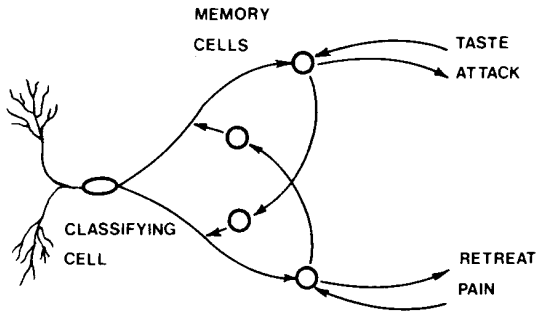


Figura 6.1. Mnemônio do polvo: redesenhado de Young (1965). Se o sinal que chega é "bom", a célula classificadora ativa o neurônio controlador do ataque. Em seguida a essa ação, chegam os sinais que indicam o resultado (positivo ou negativo), reforçando ou inibindo a ação, isto é, deixando aberta a via bem sucedida e fechando a mal sucedida.

O modelo de memória mais popular é sem dúvida o (1.1) ou estocagem localizada semelhante ao disco fonográfico, o qual pode ser tocado de novo quando se deseja. Ele é o favorito do pessoal da inteligência artificial, porque os computadores realmente têm "memórias" que estocam informações que podem ser recuperadas quando se deseja. Mas a memória humana não é como a do computador: longe de viver o passado fielmente, a lembrança introduz nele importantes alterações, ora embelezando a história inadvertidamente, ora empobrecendo-a, quase sempre dando-lhe uma coerência e plausibilidade que não estavam lá desde o início (vejam Bartlett, 1932). Em resumo, a lembrança humana envolve reconstrução, criação e destruição. Por outro lado, não se espera de um computador que destrua informações, quanto mais ter falsas memórias. Portanto, parece improvável que memorizar consista em estocar e, correspondentemente, lembrar consista em recuperar. O que vale para os engramas localizados também vale para

os engramas globais ou hologramas neurais. (Para críticas ao modelo holográfico da memória, ver Arbib *et al.*, 1976.)

Se não existe estocagem de estados ou eventos passados, então deve existir uma *propensão* para certos sistemas neurais serem ativados, seja espontaneamente seja sob a estimulação de outros sistemas. E esta propensão pode se localizar nas conexões mais fortes de determinados neurônios, em detrimento de outros — uma força que aumenta com o uso e diminui com o desuso, de acordo com a hipótese de Hebb. Por exemplo, quando pronuncio a palavra "nuvem" freqüentemente me lembro da palavra "janela" e vice-versa, provavelmente porque eu sempre tive alguma dificuldade em lembrar essas duas palavras do cotidiano em inglês e alemão. É provável que os sistemas neurais de meu cérebro capazes de formar as palavras "nuvem" e "janela" estivessem normalmente inibidos e ficassem conectados (associados). Uma vez que meu sistema neural para "nuvem" fique excitado, tende a ativar o sistema para "janela" e vice-versa. Mas isso nem sempre ocorre: somente acontece quando tento lembrar uma das duas palavras, não quando estou pensando na física das nuvens ou na história das janelas. O quê e o como de minhas memórias dependem dos sinais presentes na ocasião em que precisei invocá-las.

De qualquer modo, quaisquer que sejam os detalhes do mecanismo da lembrança, não parece que consista da reativação de algum circuito neural fixo mas "da recente produção ou reconstrução de um item" (Bindra, 1976, p. 330). Se assim for, então, ao invés de procurar circuitos especiais, para não dizer neurônios individuais, que registrem experiências específicas, deve-se procurar por alterações nos padrões de atividade dos sistemas neurais, fixos ou transitórios (von Foerster, 1965; Young, 1973). E não devemos considerar exclusivamente o aspecto de esquecimento ou de enfraquecimento (como faz Wickelgren, 1974) mas também o fortalecimento das conexividades sinápticas (como faz Anderson, 1972, 1973). (Nos últimos modelos, uma memória é igual à soma de atividades de todos os neurônios em um dado sistema de traços. Um estímulo é lembrado ou reconhecido quando se combina às atividades em curso do sistema.)

Olhemos rapidamente para dois fenômenos que envolvem memória. O primeira é a comparação de eventos atuais com eventos passados. O mecanismo dessa comparação pode ser químico — como provavelmente é o caso da quimiotaxia das bactérias — ou neuronal. Um possível mecanismo desse último tipo, para comparar eventos que se seguem rapidamente no tempo (isto é, memória de curto prazo), é o que se segue, resumido na Figura 6.2 (Mountcastle, 1967). O interneurônio *C* age como um retardador de tempo: quando *A* dispara, *B* primeiro recebe o sinal vindo diretamente de *A* e logo em seguida (porque a transmissão sináptica é mais lenta que a axonal) o sinal que passa por *C*. Assim, em um dado tempo *t*, *B* pode receber dois sinais: um informando-o a respeito do estado de *A* no tempo $t - 1$ e o outro informando-o sobre o estado de *A* no tempo anterior $t - 2$. *B* pode então comparar os dois eventos.

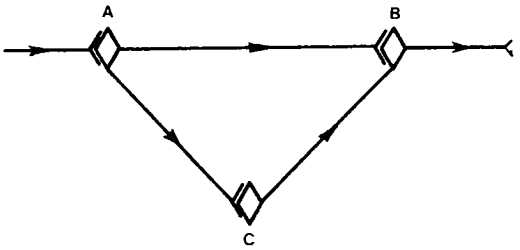


Figura 6.2. Sistema comparador de memória de Mountcastle.

Nosso segundo exemplo é o famoso *olho mental*, ou imagem visual. Enquanto a visão normal consiste da atividade de

células do córtex estriado estimuladas por sinais da retina, as imagens visuais que formamos quando fechamos os olhos são fruto da mesma atividade gerada internamente. As imagens do córtex visual podem ser eliciadas por qualquer um dos sistemas neurais conectados a ele — tanto que uma imagem visual pode ser eliciada por um som ou por uma pontada de fome, por uma sensação háptica ou por uma idéia abstrata, por uma palavra ou por um cheiro. O que é valido para o devaneio também vale para o sonho durante o sono e talvez também para o pensamento em imagens. "O mecanismo da imaginação é um mecanismo aberrante de exterocepção, não uma forma de espiar internamente para observar a operação da mente" (Hebb, 1968, p. 468). Finalmente, as pós-imagens visuais podem ser somente memórias visuais que se desvanecem rapidamente (ou imagens de memória). A retina e o córtex visual primário podem não funcionar nesses casos mas o córtex secundário sim.

Obviamente a conclusão é que a memória não é registro passivo mas um tipo de atividade de determinados sistemas neurais. Ao invés de reprodutiva, esta atividade é mais criativa, em alguns aspectos, e destrutiva, em outros. E, como todos os outros fenômenos mentais, a memória deve ser estudada em todos os níveis, começando pelo molecular: embora todos os sistemas de memória sejam influenciados por alterações na composição química do cérebro, alguns deles podem ser quimiossistemas. Afinal de contas, a memória pode ser manipulada muito eficientemente por meios químicos. (Por exemplo, injeções intracranianas de puromicina e actinomicina D, ambas inibidores da síntese de ARN, bloqueiam o estabelecimento da memória de longo prazo; e memórias bem estabelecidas podem ser apagadas com o uso de certas drogas, tais como a epinefrina, enquanto outras drogas, como a fenoxibenzamina, podem contratacar esta ação amnésica.) Além disso, o próprio genoma pode ser considerado um sistema de memória, especificamente aquele que registra o passado da espécie.

Uma sugestão final é explorar as seguintes conjeturas. A lembrança de eventos corporais pode ser idêntica à reativação de esquemas corporais, enquanto a lembrança de eventos externos pode ser o mesmo que a reativação de mapas externos do mundo. Qualquer que seja o caso, tal reação poderia ser ou espontânea ou eliciada por eventos em algum outro psicossistema ou no sistema nervoso periférico. (Certamente a pele, nosso órgão sensorial mais extenso, deve desempenhar uma função importante na memória sensorial.)

Alguns sistemas de memória têm uma capacidade que a maioria não possui, notadamente a capacidade de aprender. O aparecimento desta capacidade foi um enorme salto evolucionário. Antes desse estádio, somente mutação, recombinação e seleção cega podiam produzir algum progresso na eficácia do sistema nervoso. O organismo capaz de aprender, por outro lado, não precisa esperar milhões de anos para ter esses progressos: ele pode melhorar consideravelmente as possibilidades de sua herança genética e pode fazê-lo durante sua própria vida. O assunto da aprendizagem, porém, merece uma seção separada.

2. Aprendizagem

A Definição 2.8 identificou aprendizagem como a aquisição de novas funções neurais, envolvendo por conseguinte sistemas neurais plásticos (não previamente conectados). (A plasticidade é uma disposição neural, a aprendizagem é sua realização.) Neste sentido, toda a aprendizagem, mesmo a mais ínfima, é criativa, pois resulta na emergência de padrões de atividade

neural que não são geneticamente programados mas que são formados enquanto o animal vive. O que é programado é a capacidade de aprender.

Reparem que nossa definição difere da definição comportamental usual de aprendizagem como modificação de comportamento em resposta à estimulação. (Entretanto, nossa definição não cobre a aquisição de novos padrões de comportamento, uma vez que todo item comportamental seria controlado por algum sistema neural.) Não temos nenhuma utilidade para a definição behaviorista de aprendizagem (por conseguinte nem para a de comportamento!) por três razões. A primeira é que, desde que os estímulos ambientais sejam fortes o bastante, tudo, de fótons e átomos até a sociedade, irá adotar novos padrões de comportamento. Especificamente, já que organismos tão simples quanto as bactérias comportam-se diferentemente em meios com diferentes teores de acidez, poder-se-ía imputar-lhes a capacidade de aprender. Sendo tão acomodatício, o conceito behaviorista é inútil. Em segundo lugar, nem todas as mudanças comportamentais que ocorrem durante o desenvolvimento são imputáveis à aprendizagem: algumas são devidas à expressão seqüencial de determinados genes (e portanto à síntese de novas proteínas) e à organização resultante do sistema nervoso. Em terceiro lugar, a aprendizagem em humanos pode não ser acompanhada de quaisquer expressões motoras ou, quando o for, essas expressões podem não ser específicas e portanto não serem indicativas daquilo que foi aprendido. Por exemplo, a teoria do *aprender a aprender* é comportamentalmente indistinta da filosofia da aprendizagem.

Para salientar a idéia de que a aprendizagem é uma modificação da atividade neural, enunciamos a

DEFINIÇÃO 6.2. *Chamemos de E um tipo de evento ou processo em um sistema neural que envolve um subsistema plástico de um animal a, e de S um tipo de estímulo* (*externo ou interno*) *que a pode perceber ou detectar. Então a* aprendeu *e* ∈ *E na presença de s* ∈ *S durante o intervalo de tempo* $[t_1,t_2]$ *se e somente se*

(*i*) *e não ocorreu em a na presença de s antes de* t_1;

(*ii*) *depois de* t_2, *e ocorre em a sempre que a percebe s* [*isto é, a memorizou s*].

Uma vez que todo comportamento é controlado por algum sistema neural (Postulado 5.1), esta definição abarca o conceito de aprendizagem comportamental, isto é, aprender a executar um movimento. Notem ainda que não estamos supondo que o estímulo à aprendizagem seja externo, nem que aquilo que é aprendido refira-se ao ambiente. Certamente elaborar mapas neurais a partir de pedaços das próprias vizinhanças é um tipo de aprendizagem, mas aprender teorias é um tipo diferente.

De acordo com a definição acima, toda aprendizagem é individual: não existe aprendizagem societária. A alegação de que um grupo social é capaz de aprender só pode significar que alguns de seus membros são capazes de se comportar adaptativamente.

Adotaremos ainda a

DEFINIÇÃO 6.3. *A* experiência *de um animal em um dado tempo é o conjunto de tudo que ele aprendeu até esse tempo.*

Em outras palavras, a experiência de um animal é sua aprendizagem acumulada, isto é, a coleção de alterações em seus sistemas neurais plásticos. Esse conjunto não inclui aquilo que o animal aprendeu em uma determinada ocasião e desde então esqueceu. Por outro lado, inclui aprendizagem não perceptiva: isto é, experiência não é somente a

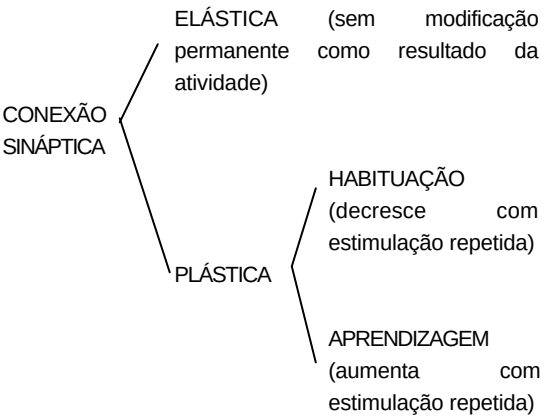
experiência sensorial mas toda a aprendizagem. Inclui especificamente aquilo a que denominamos "conhecimento".

De acordo com nossa definição, "aprender" a evitar estímulos prejudiciais não é aprendizagem propriamente dita, pois pode muito bem consistir de um processo que não envolva sistemas neurais plásticos: na verdade, consiste de fechar ou bloquear vias indesejadas, portanto mais da diminuição que da expansão do espaço de estados do sistema nervoso. Uma vez que isto, ou seja, "aprender" o que *não* fazer, é tudo que os invertebrados parecem ser capazes de "aprender" (vejam Young, 1973; Kandel, 1976; Hoyle, 1976), eles não aprendem de acordo com nossa definição, e essa aprendizagem deve portanto ser rebatizada — por exemplo, de triagem ou filtração.

(Ainda com mais razão, não temos utilidade para uma teoria inibitória da aprendizagem, segundo a qual "Toda aprendizagem e todo pensamento podem ser considerados como resultando de uma única operação fundamental, aquela da inibição de respostas ou tendências de respostas inadequadas" (Harlow, 1958, p. 282). Se essa hipótese fosse verdadeira, então o animal mais humilde capaz de aprender seria nada menos que um desinibido Einstein. A inibição — como salientada por Match e Pavlov — é admitidamente tão importante quanto a excitação, e mesmo assim tem sido sistematicamente negligenciada pelo behaviorismo. Mesmo assim, a inibição não constitui explicação para tudo, não mais que a excitação.)

A habituação também não é um tipo de aprendizagem propriamente dita, e pela mesma razão, especificamente porque consiste no enfraquecimento de conexões sinápticas existentes (já ligadas) com estimulação repetida, a qual, por sua vez, resulta de uma redução na liberação de transmissor na fenda sináptica (vejam Kupferman, 1975; Kandel, 1976; Fentress, 1976). Ainda assim, o estudo da habituação é de grande importância para a compreensão da aprendizagem: porque mostra a dualidade da aprendizagem propriamente dita e por conseguinte sugere que a aprendizagem consiste do fortalecimento de conexões sinápticas (a hipótese de Hebb), e porque pode ser realizada em animais relativamente simples, notadamente os invertebrados.

A conclusão é que, no que se refere à aprendizagem, parece haver três tipos principais de sinapses, ou melhor, de conexões sinápticas (Groves e Thompson, 1970):



Enunciando de modo mais preciso, e por conseguinte de um modo que se presta mais facilmente à especulação teórica: a probabilidade de ocorrência da transmissão através de uma sinapse, de impulsos do neurônio pré-sináptico para o pós-sináptico, pode ser independente do número de estímulos (*elástica*), pode diminuir com a quantidade de estímulos (*habituação*), ou pode com ela aumentar (*aprendizagem*) (Figura 6.3).

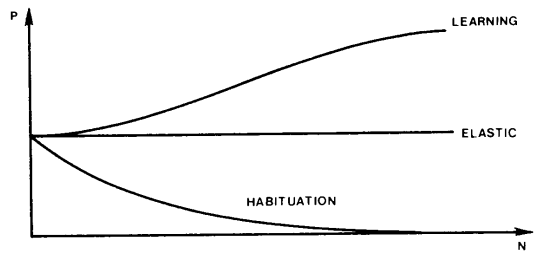


Figura 6.3. A probabilidade *P* da transmissão de impulsos através de uma fenda sináptica depende do número *N* de ensaios.

No processo de aprendizagem, um animal expande seu espaço de estados neurais. Esta expansão pode ser quantitativa (mantendo-se os mesmos eixos) ou qualitativa (modificando-se alguns eixos) (Figura 6.4). Por exemplo, quando um bebê forma sua primeira sentença provavelmente executa a segunda, ao passo que executa a primeira quando acrescenta mais uma palavra ao seu repertório verbal. Pelo mesmo motivo, instruções de aprendizagem, assim como a aprendizagem por ensaio e erro, pertencem ao primeiro tipo. Algumas aves e mamíferos parecem capazes de fazer isso e alguns computadores são projetados para imitar essa característica. O descobrimento e a invenção pertencem ao segundo tipo e somente alguns vertebrados superiores apresentam essa capacidade. (Vem à mente — perdão, ao cérebro — o caso da famosa macaca japonesa, Imo, que inventou novas maneiras de limpar batatas e grãos de trigo.)

Provavelmente, enquanto a aprendizagem do primeiro tipo consiste na modulação ou coordenação da atividade de sistemas neurais pré-existentes, a do segundo tipo consiste na emergência de novos sistemas neurais de tamanho considerável. E, enquanto o primeiro tipo de aprendizagem pode ser tratado — somente em uma primeira aproximação e em seu aspecto estrutural — pela teoria da automação, o segundo não pode porque esta teoria trata exclusivamente de sistemas com um espaço de estados fixo, equipados com função próximo-estado fixa.

Essa distinção entre os dois tipos de aprendizagem tem ainda que ser estabelecida, tanto experimental quanto teoricamente. Se se mostrar verdadeira, seria de algum interesse filosófico porque traça uma divisória entre tarefas rotineiras e atos criativos, por conseguinte entre computadores (que são projetados de forma a não poderem ser criativos) e cérebros humanos — que são os sistemas mais criativos que conhecemos. A distinção, entretanto, dificilmente seria de relevância para o problema cérebro–corpo, pois ambos os casos supõem que a aprendizagem seja uma alteração em algum padrão de atividade neural. E a questão dessa alteração ocorrer no nível celular ou mesmo no subcelular (por exemplo, na membrana neuronal), ou apenas no nível

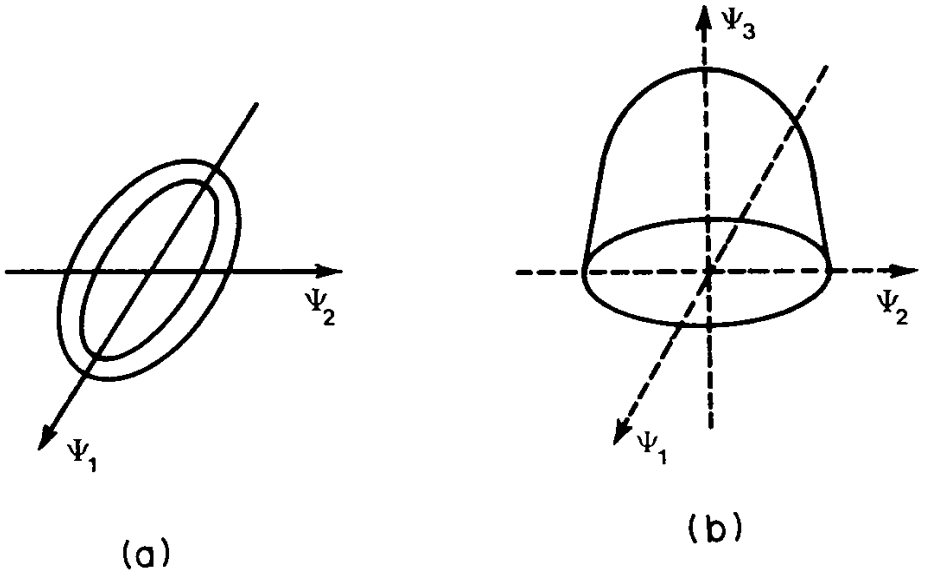


Figura 6.4. (a) Crescimento quantitativo da aprendizagem: mais da mesma coisa. (b) Expansão qualitativa da aprendizagem.

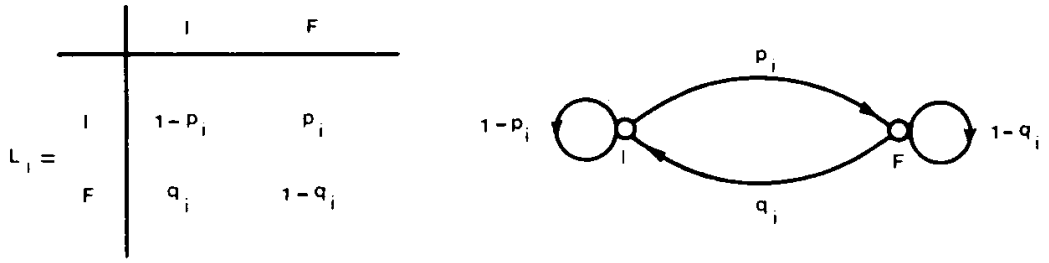


Figura 6.5. A aprendizagem como um processo estocástico no nível comportamental: a matriz de aprendizagem e o correspondente gráfico de Moore.

supracelular (por exemplo, na conexividade entre os componentes de um sistema neural) é um fascinante problema científico (vejam Dunn, 1976; Woolacott e Hoyle, 1977), mas de pouca importância ontológica. Na verdade, em qualquer dos casos a aprendizagem seria idêntica a alguma modificação material, não a uma expansão literal da mente. (Além do mais, não precisa necessariamente haver conflito entre os modelos celular e supracelular: a aprendizagem pode muito bem ser tanto uma alteração em determinadas propriedades da célula quanto nas conexões sinápticas.)

Se agora desconsiderarmos os mecanismo neurofisiológicos da aprendizagem e nos concentrarmos no resultado líquido de um processo de aprendizagem, descobriremos o que se segue. A aprendizagem é um processo estocástico, isto é, uma seqüência de eventos, cada um com uma probabilidade definida. No caso simples onde um animal deve aprender uma lista de N itens, o processo de aprender o item i pode ser considerado um salto, com probabilidade p_i, de um estado I de inocência (ignorância) para um estado Q de queda (conhecimento). Mais precisamente, haverá quatro eventos para cada item: $< I,I >$ com probabilidade $1 - p_i$, $< I,F >$ com probabilidade p_i, $< F,I >$ com probabilidade q_i, e $< F,F >$ com probabilidade $1 - q_i$. A matriz de transição para o item i é mostrada na Figura 6.5. A matriz de aprendizagem total de todos os N termos é a matriz de colunas constituída pelas N matrizes L_i. Este modelo extremamente simples descreve a aprendizagem em uma só tentativa, isto é, eventos de aprendizagem do tipo tudo ou nada. (Tais eventos de aprendizagem são muito mais comuns do que geralmente se pensa. Assim, um rato não precisa experimentar comida venenosa, nem um cachorro lamber uma chama, uma centena de vezes para aprender que estímulos dessa natureza são nocivos: uma única experiência pode ser suficiente.) Porém obviamente o modelo pode ser generalizado para a aprendizagem em muitas tentativas.

Os modelos estocásticos de aprendizagem do tipo que acabamos de ver são muito adequados no nível comportamental, aquele do qual se ocupa a maioria dos psicólogos matemáticos. Esses modelos, no entanto, apresentam duas graves desvantagens. Uma é que dificilmente são teorias explanatórias: na verdade, são essencialmente sumários de dados. A outra é que consideram a aprendizagem como um processo discreto enquanto, se a aprendizagem for uma alteração quer na permeabilidade da membrana quer na conexividade sináptica, então certamente mesmo a aprendizagem rápida é um processo contínuo no nível fisiológico. Mesmo a conhecida teoria da aprendizagem por hipóteses (Levine, 1974), que postula a formação súbita e a rápida aceitação ou rejeição de hipóteses durante tarefas de aprendizagem, é consistente com a hipótese de que tais alterações são mais processos neurais rápidos do que saltos. Portanto, a tese behaviorista de que toda

aprendizagem *deve* ser discreta (Estes, 1962; Greeno, 1974), somente porque os behavioristas observam apenas suas manifestações comportamentais gerais, resulta no descarte perverso daquilo que mais caracteriza a aprendizagem, notadamente o sistema nervoso plástico.

O tratamento da aprendizagem pela teoria da informação não se sai melhor: não somente ignora a especificidade física, química e biológica do SNC, como também consegue explicar no máximo comportamentos de esquiva, tais como a retirada. Na verdade, essa teoria iguala a aprendizagem ao ganho de informações, isto é, ao "congelamento" de algumas saídas possíveis do sistema, de modo que o mesmo não execute determinadas "coisas". A quantidade de informações carreada ao sistema por um sinal equivale à redução no número de opções à disposição do sistema.) Na verdade, isto é o que acontece no caso do comportamento aversivo, mas não quando um animal aprende a executar "coisas" novas, para as quais não foi programado: nesses casos, ocorre não uma restrição mas uma expansão de suas saídas, de modo que não se pode dizer que o animal tenha recebido e processado informações. Moral: Quando se quer aprender como um animal aprende, deve-se estudar seus mecanismos específicos de aprendizagem ao invés de considerá-lo como uma caixa preta, em particular, como um processador de informações.

Terminaremos esta seção com alguns comentários sem ligação. Em primeiro lugar, embora não tenhamos que aprender a sentir (detectar), temos que aprender a perceber. Particularmente, aprendemos bastante cedo na vida a externalizar ou projetar as coisas distantes que ouvimos ou enxergamos, e o fazemos integrando e interpretando as informações que provêm dos vários sentidos. Em segundo lugar, também temos que aprender cedo em quem ou a que nos ligarmos, o que comer, onde dormir, e assim por diante. (A esse tipo de aprendizagem precoce, que é rápida e em geral duradoura — embora possa ser experimentalmente apagada — se denomina *estampagem*.) Em terceiro lugar, a abordagem psicobiológica da aprendizagem pode sugerir, mas não necessariamente implica, a tentativa de reduzir todos os tipos de aprendizagem ao ensaio e erro cego. Embora este certamente seja universal, não é o único tipo de aprendizagem: como já mencionamos acima, a aprendizagem criativa é de um tipo diferente. Além disso, em adultos humanos, e provavelmente também em outros primatas, mesmo a solução de tarefas relativamente simples pode ocorrer através da elaboração e verificação de hipóteses (Levine, 1974) — uma descoberta que veio para se contrapor à idéia de que os humanos aprendem passivamente. Em quarto lugar, parece que quase todos os tipos de excitação são suficientes para motivar um animal a aprender. Assim, a mera aplicação de um clipe de papel à cauda de um rato é capaz de facilitar a aprendizagem de determinadas tarefas (Koob *et al.*, 1976). Isso parece confirmar o papel de sistemas subcorticais na aprendizagem. E isso não é tudo: a antecipação ou previsão facilita a aprendizagem, principalmente se ligada a um valor positivo, conforme se conhece dos esquemas de reforço. Mas este ponto merece um parágrafo separado.

3. Expectativa e propósito

Todos os sistemas físicos e químicos, e a maioria dos biossistemas, são *não antecipatórios*, isto é, não têm qualquer expectativa e portanto seu comportamento não depende do resultado esperado de suas ações. Apresentamos agora a antecipação, uma capacidade que somente algumas espécies exibem — na verdade, todos aqueles, e somente aqueles, capazes de aprender a esperar, seja reforço seja punição, quando

confrontados com determinados estímulos ou quando se empenham em determinadas atividades. Um exemplo familiar é a alegria do cãozinho de estimação à visão da coleira: ele anseia por um passeio.

Adotaremos a

DEFINIÇÃO 6.4. *Um animal b* espera (*ou* prevê) *um evento futuro do tipo E quando sente um estímulo s externo ou interno, enquanto em um estado t, se e somente se b tiver aprendido a associar s e t com um evento do tipo E*.

Um definição alternativa, um tanto quanto mais geral, é a que se segue, empregando a noção de mapa ou modelo interno: "Um sistema é um *sistema antecipatório* se e somente se for capaz de construir modelos de determinadas coisas." Pode-se dizer que este modelo antecipa a evolução de uma coisa se e somente se cada estado do modelo corresponder a um estado da coisa. (Reparem que enquanto os estados da coisa se alteram ao longo do tempo, os do modelo não: a totalidade dos estados do modelo é dada no momento em que o modelo é feito.) Além disso, o modelo é verdadeiro se permitir uma antecipação correta (verdadeira) da evolução em pauta. A vantagem desta definição é que é aplicável aos sistemas artificiais. (Para uma definição semelhante, ver Rosen, 1974.)

Como a expectativa depende da experiência, a observação casual do comportamento, sem quaisquer informações sobre a história de aprendizagem (experiência) do animal, não permite que se preveja seu comportamento. Incidentalmente, isto responde à antiga objeção quanto a possibilidade de uma psicologia humana, ou seja, já que nenhuma pessoa reage do mesmo modo que outra frente ao mesmo estímulo, o comportamento humano é imprevisível. Dêem-me a história e as circunstâncias de uma pessoa, e dêem-me uma teoria científica do comportamento, e eu serei capaz de apresentar previsões de curto prazo de seu comportamento.

Como a previsão depende da aprendizagem (e vice-versa), os animais inferiores, que não têm capacidade de aprender, também não têm expectativas. Mas se um animal for capaz de aprender, então terá expectativas, as quais, por sua vez, auxiliarão na aprendizagem. De fato, a experimentação mostra que o nível de desempenho dos animais superiores é bastante sensível ao valor do resultado (recompensa ou punição). Animais dotados da capacidade de esperar são capazes de regular o esforço que empenham na realização de algo.

A outra face da expectativa é, obviamente, a surpresa. Se a expectativa for quantificada, a surpresa também o será, notadamente como recíproca ou complemento da primeira. Porém ambas existem na aprendizagem: um animal incapaz de aprender nunca é surpreendido e nunca fica desapontado.

Parece que todos os vertebrados têm órgãos servindo uma função antecipatória ou preparatória. *Exemplos*: As glândulas salivares secretam saliva à visão de alimento; as células glicorreceptoras do intestino sinalizam ao pâncreas a ingestão de glicose, estimulando no mesmo a liberação de insulina; e a medula adrenal, estimulada pelo SNC, secreta epinefrina na preparação para fuga ou luta. Em todos esses casos, um subsistema alerta o outro. Além disso, em todos esses casos, as funções antecipatórias são autônomas ou quase autônomas. Não admira que o cérebro do mamífero também tenha funções antecipatórias e mais refinadas, que alguns animais possam prever e se preparar para o que der e vier. Pode-se dizer que eles se comportam de uma maneira proposital e dirigida para um objetivo.

Embora muito, talvez a maior parte, do que um animal faz seja biologicamente importante, ou no mínimo indiferente — caso contrário ele

já estaria morto — a maior parte disso é mais geneticamente preparada do que dirigida para objetivos. Observem uma formiga carregando uma folha até seu formigueiro: ela escala ou contorna obstáculos tão formidáveis, e age de uma maneira tão persistente, que ficamos tentados a atribuir-lhe propósito e mesmo obstinação. Além disso, seu comportamento satisfaz um critério bastante popular de direcionamento a um objetivo proposto há muito por William McDougall, notadamente este: "Uma ação é direcionada a um objetivo se e somente se seu resultado for invariante — dentro de certos limites — quando se alteram as circunstâncias sob as quais é realizada" (vejam Ackoff e Emery, 1972). No entanto, uma formiga não tem outra escolha a não ser se comportar do modo que faz: é geneticamente programada para agir daquele modo, e seu sistema nervoso é demasiadamente primitivo para ser capaz de ter qualquer expectativa, para não falar em guiar sua dona por meio da expectativa de um objetivo. (Ver Hoyle, 1976, para "gravações motoras" que controlam o comportamento dos insetos.) Conseqüentemente, o critério acima mencionado de direcionamento a um objetivo é inadequado, tanto que é satisfeito pelo fluxo de um rio em direção ao mar. Neste caso, também, o fluxo persiste quando se alteram as circunstâncias, ao ponto de a água contornar obstáculos podendo mesmo alterar o curso do fluxo entre a origem e o estuário.

O comportamento inato ou estereotipado não pode ser dirigido a objetivos porque o animal não pode evitar executá-lo. Somente o comportamento aprendido *pode* ter propósito, e isto porque a expectativa pressupõe a aprendizagem (Definição 6.4). É certo que quando um animal aprendeu as ações corretas que levam a um objetivo, ele pode automatizá-las a tal ponto que parecem inatas. Mas quando um padrão de comportamento é genuinamente proposital, longe de ser seu prisioneiro, o animal deve ser capaz de corrigi-lo em caso de fracasso.

Em suma, todo comportamento proposital é aprendido e, sendo aprendido, é também motivado: o resultado leva a uma redução no impulso. (Não estamos exigindo que o objetivo tenha valor biológico em todos os aspectos, pois, no caso do homem, devemos deixar espaço para os vícios, que são auto-destrutivos.) Ainda, a ação deve ser antecipatória: o animal deve ser capaz de prever o resultado em alguma medida. Resumimos isso tudo na

DEFINIÇÃO 6.5. *Uma ação X de um animal b tem o* propósito *ou* objetivo *Y se e somente se*

(*i*) *b pode escolher não executar X*;
(*ii*) *b aprendeu que a execução de X traz, ou aumenta as chances de conseguir, Y*;
(*iii*) *b espera a possível ocorrência de Y quando executa X*;
(*iv*) *b dá valor a Y.*

Reparem nas condições do propósito: liberdade, aprendizagem, expectativa e valor. Obviamente, as máquinas, não obstante quão sofisticadas, não preenchem todas as quatro condições, por conseguinte não podem apresentar a característica do direcionamento a objetivos. A maior parte do comportamento animal não é proposital: apenas parece ser direcionada a objetivos porque muitas vezes é eficiente, mas essa eficiência é o resultado de um longo e perdulário processo evolucionário que resultou nos mecanismos de controle que funcionam autonomamente, isto é, sem a intervenção de qualquer sistema neural plástico, por conseguinte sem aprendizagem ou expectativa. Por exemplo, a maioria dos animais se acasala e cria os filhotes de uma maneira espontânea e não aprendida

— como resultado de alterações hormonais pouco conhecidas, não porque estejam ansiosos em perpetuar suas espécies. Os primatas, por outro lado, precisam aprender a desempenhar adequadamente: embora seu impulso sexual seja inato, os comportamentos de corte e cópula são aprendidos e direcionados a objetivos.

O valor biológico da ação proposital não pode ser superestimado: é quase tão eficiente quanto o comportamento estereotipado (rigidamente programado), e muito mais do que o comportamento causado por input (como reflexo patelar) ou por ele modulado, como o andar ou trepar de uma serpente. (É interessante que os dois extremos desta escala de comportamentos sejam gerados endogenamente: o primeiro independe dos estímulos ambientais e o quarto é ajustado e modulado mas não causado por eles.) Entretanto, o valor biológico ou eficiência não é um indicador fiel de propósito — nem a presença de mecanismos de controle. Na verdade, cada animal multicelular apresenta numerosos mecanismos moleculares e celulares de controle, que regulam a produção de eventos de valor biológico, e mesmo assim não são dotados da propriedade do propósito. O comportamento direcionado a objetivos implica em controle, que por sua vez implica em valor biológico, mas as implicações reversas são falsas.

Os dualistas alegam que o comportamento proposital confirma sua doutrina, pois os propósitos não são possivelmente entidades ou eventos físicos. Este ponto de vista, embora ainda seja popular, foi posto abaixo pelos cibernéticos, que sugeriram um mecanismo geral concreto para a ação proposital, notadamente o da alça de feedback negativo (Rosenblueth *et al*, 1943, 1950). Desde então, os modeladores neurais têm sido capazes de explicar numerosos padrões de comportamento proposital (vejam Milner, 1977). De acordo com esses modelos, os propósitos não são estados ou entidades em uma mente imaterial, mas determinados padrões de atividades neurais. Este ponto de vista, ao contrário da concepção mentalista de propósito, está de acordo com a biologia evolucionária, que se preocupa em explicar o aparecimento do comportamento direcionado a objetivos como uma aquisição recente que nada tem a ver com um planejamento sobrenatural.

Tendo definido a noção de objetivo, podemos agora definir a noção de meios:

DEFINIÇÃO 6.6. *Uma ação X de um animal b é um* meio adequado *para atingir um objetivo Y de b se e somente se de fato b, ao executar X, faz ocorrer ou aumenta a probabilidade da ocorrência de Y.*

4. Natureza e aprendizagem

A experiência (aprendizagem acumulada) de um animal depende tanto de sua constituição genética quando do(s) ambiente(s). A hereditariedade supre a potencialidade, e o ambiente as chances de realizar algumas delas. (Henry Fielding disse isso em *Tom Jones* há mais de dois séculos.) (Figura 6.6) Uma hereditariedade rica é inútil em um ambiente pobre, e um ambiente rico não compensa uma hereditariedade pobre. (Por conseguinte, a clonagem não basta para a produção em massa de gênios.)

Este entrelaçamento entre hereditariedade e ambiente — e daí o fracasso tanto do nativismo quanto do ambientalismo — em nenhum ugar é mais óbvio do que no desenvolvimento do cérebro do mamífero desde a infância até a senilidade. Considerem apenas as seguintes descobertas. (a) É inútil tentar ensinar tópicos avançados a crianças muito novas ou retardadas; (b) o desenvolvimento é gravemente atrasado em um

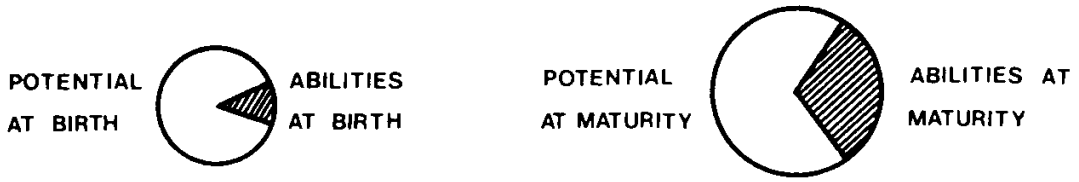


Figura 6.6. A experiência assenta-se na hereditariedade. A potencialidade na maturidade geralmente é maior que ao nascer porque alguns genes se "expressam" mais tarde, por conseguinte novas reações químicas, que não podiam ocorrer ao nascer, acontecem na maturidade.

ambiente empobrecido, incapaz de fornecer a alimentação adequada (Provence e Lipton, 1962) ou estimulação variada; (c) o modo de criação tem efeitos químicos e anatômicos observáveis sobre a estrutura do cérebro, particularmente sobre a espessura do córtex, ramificação dendrítica e número de células gliais (ver Bennett, 1976; Diamond *et al.*, 1976; Rosenzweig *et al.*, 1976); (d) mesmo um gênio ficará senil se viver o bastante.

A organização do cérebro de um animal adulto, e portanto seu repertório comportamental, depende, então, tanto de sua constituição gênica quanto das oportunidades e desafios apresentados pelo ambiente, principalmente no início da vida. (O cérebro do primata é tão plástico que seu córtex sensorial é capaz de aprender a enxergar corretamente mesmo quando o animal é equipado com óculos especiais que invertem a imagem. E é tão criativo que pode deliberadamente modificar seu ambiente para adequá-lo a seus propósitos.) O monista psiconeural não tem dificuldades para compreender o desenvolvimento e a involução das capacidades mentais, notadamente em termos do aparecimento e desaparecimento (funcional) de sistemas neurais. Por outro lado, o dualista psicofísico não tem nenhuma pista sobre a maturação e decadência da mente imaterial.

O neonato humano não tem mente (Delgado, 1969) — apesar dos mitos psicanalíticos. Em primeiro lugar, porque muitos neurônios somente são formados depois do nascimento. Em segundo lugar, porque muitas (talvez quase todas) conexões dendríticas entre os neurônios só se formam após o nascimento. Em terceiro lugar, porque os neurônios das áreas sensoriais são inicialmente pobres em ARN e em proteínas, e portanto não se desenvolvem bioquimicamente a não ser que recebam inputs sensoriais. Em quarto lugar, porque as várias funções do cérebro do recém-nascido não estão integradas: não constituem um sistema funcional. (Para citar um exemplo, o corpo caloso, que liga os dois hemisférios cerebrais, continua a maturar até a idade de 10 anos no humanos.) Em quinto lugar, porque a percepção não é inata mas aprendida. Por conseguinte, um ser humano criado em um ambiente extremamente pobre não aprende sequer a perceber corretamente. Lembrem-se do caso do pigmeu das florestas úmidas que, quando levado a uma planície, confundiu uma manada de búfalos com insetos. E esqueçam-se das galinhas e dos muitos outros animais que, ao contrário dos humanos, percebem corretamente assim que nascem: estamos agora interessados nos humanos e extrapolações a partir de outras espécies nem sempre servirão.

Em poucas palavras, o cérebro humano não educado dificilmente terá uma mente humana, conforme o próprio Kant comentou, a despeito de seu inatismo. As conseqüências práticas desta concepção desenvolvimentista da mente são numerosas e importantes — por exemplo, para a importância da educação na hora adequada e para a falta de bases sólidas das fantasias sobre vida mental intra-uterina e infantil. Em resumo, as funções mentais são as mais mutáveis de todas as funções corpóreas — que é um modo de dizer que o cérebro humano é o mais versátil e auto-organizador dentre

todos os sistemas do mundo conhecido (Luria, 1973).

Afirmar que o recém-nascido não tem mente equivale a dizer que não existem idéias inatas, nem intuições *a priori*, nem noções herdadas sobre o mundo. Existem apenas um SNC herdado, com uma circuitaria definida — parte da qual é ligada internamente, ou rígida, e parte é ligada maleavelmente, ou plástica — e os ambientes natural e social herdados. Assim, é mais fácil adquirir algumas idéias do que outras. Portanto, nossa imagem do mundo externo resulta não só dos estímulos externos e da mentalização ativa (principalmente da conjeturação) mas também da nossa constituição genética e da nossa herança social. Por conseguinte, não importa o quanto e quão variada uma informação chegue até um animal, ele não a absorverá a menos que esteja preparado para isso tanto pelo seu SNC herdado quanto pela sua experiência.

Cada recém-nascido humano tem um conjunto único de potencialidades. Dado o ambiente adequado, ele se transformará em um fazendeiro, um administrador. ou em um intérprete. Não que ele esteja biologicamente destinado ou predeterminado a se tornar qualquer um deles: não existem genes para agricultura, administração ou tradução. As potencialidades gênicas são mais gerais que isso: potencialidade para aprender a executar *qualquer* trabalho manual, para transacionar *qualquer* negócio, para falar *qualquer* idioma. As circunstâncias, que são sempre específicas, canalizam a realização dessas potencialidades gerais inatas. Não que o ambiente escolha ou selecione uma potencialidade inata específica, tal como ser capaz de aprender chinês. Mais do que selecionar potencialidades especiais, o ambiente as torna específicas propiciando ou rareando oportunidades para o desenvolvimento. Como no caso do desenvolvimento biológico, o ambiente controla o desenvolvimento mental mas não o produz — o que não é de surpreender já que o desenvolvimento mental é um aspecto do desenvolvimento biológico. (Embora com uma diferença: o desenvolvimento mental humano é controlado por um ambiente que é tanto social quanto natural.)

Desde o nascimento, nossas funções mentais são moldadas por meios mais ou menos sutis. São moldadas por nossos parentes e vizinhos; por nossos companheiros e animais de estimação; por nossos professores e patrões; e, principalmente após uma certa idade, por nós mesmos: através de nossa procura ativa por certos estímulos e coisas a serem realizadas e da nossa esquiva de outras coisas. Além disso, obviamente existem meios mais rápidos e brutais de se realizar mudanças radicais em nossas funções mentais, tais como lesões e cirurgias cerebrais; concussões e estimulação elétrica; e drogas de potência variada, desde o chá até a heroína. Alguns desses estímulos, em particular a estimulação elétrica leve, são capazes de eliciar ou bloquear processos cerebrais de todos os tipos — percepção, imaginação, recordação, emoção, dor, prazer, etc. (vejam Penfield, 1958).

Se o mental fosse imaterial, seria impossível influenciá-lo através de meios físicos, químicos ou cirúrgicos. Dado que o mental pode ser influenciado por esses meios, mesmo ao ponto da destruição total, segue-se que não é imaterial — um simples exercício de lógica. Além do mais, uma vez que aquilo que os meios físicos, químicos e cirúrgicos modificam são determinadas funções (processos) cerebrais, é óbvio que a mente é um determinado sistema de funções do SNC. A única maneira pela qual um dualista pode fugir desta conclusão é ou ignorando a grande quantidade de evidência experimental ou alegando que o cérebro em funcionamento é dirigido por um espírito fora deste mundo. De qualquer um dos modos ele ultrapassará os limites da Ciência. Um neurocientista que tomou essa

decisão foi Eccles (1968, p. 7): "Além da ciência estão os problemas existenciais da existência do cosmo, por um lado, e o da existência da própria consciência, do outro [...] Esses problemas existenciais requerem uma explicação sobrenatural que deve ser admitida por nós [sic] cientistas com toda a humildade."