

Ensayo 4

El huevo y el infusorio

De vez en cuando se leen comentarios que ponen de relieve que el cerebro humano está mucho más condensado que cualquier ordenador electrónico.

Es cierto que el cerebro humano es una maravilla de condensación en comparación con las máquinas pensantes construidas por el hombre, pero tengo la impresión que esto no se debe a ninguna diferencia fundamental entre la naturaleza del mecanismo del cerebro y la de los mecanismos que activan los ordenadores. Más bien tengo la impresión que la diferencia reside en el tamaño de los componentes respectivos.

Se calcula que el córtex del cerebro humano está formado por más de diez mil millones de células nerviosas, mientras que el primer ordenador electrónico moderno, el ENIAC, tenía unos veinte mil conmutadores. No sé cuántos tienen los ordenadores más modernos, pero sé con seguridad que no se acercan ni con mucho a los diez mil millones.

Por tanto, lo más asombroso no es el cerebro, sino la célula que no sólo es considerablemente más pequeña que cualquier unidad constituyente de una máquina fabricada por el hombre, sino que, además, es mucho más flexible.

Además de actuar como un conmutador o amplificador electrónico (o lo que sea que haga en el interior del cerebro), actúa también como una planta química completa.

Además, las células no necesitan agruparse en números terriblemente grandes para constituir un organismo. Desde luego, un cuerpo humano contiene aproximadamente 50.000.000.000.000 (cincuenta billones) de células, y la ballena más grande nada menos que 100.000.000.000.000.000 (cien mil billones), pero se trata de excepciones. La musaraña más pequeña contiene sólo 7.000.000.000 de células, y los pequeños seres invertebrados un número aún menor. Los invertebrados más pequeños están formados por unas cien células solamente, y sin embargo realizan todas las funciones de los organismos vivos.

De hecho (y estoy seguro que ustedes saben más que yo de estas cuestiones), existen organismos vivos con capacidad para realizar todas las funciones básicas de la vida pese a estar compuestos por una única célula.

Por tanto, si vamos a ocuparnos de lo condensadas que pueden llegar a estar las cosas, examinemos la célula y hagámonos las preguntas: ¿hasta qué punto puede estar condensada una estructura viviente? ¿Hasta qué punto puede ser pequeño un objeto sin perder su condición de ser vivo?

Para empezar, ¿qué tamaño tiene una célula? No hay una respuesta única a esta pregunta, porque hay células y células, y algunas son más grandes que otras. Casi todas son microscópicas, pero algunas son tan grandes que resultan claramente, incluso

inevitablemente, visibles sin el microscopio. En último extremo, es posible que una célula sea tan grande como una cabeza humana. Los gigantes del mundo celular son las diferentes células huevo que producen los animales. La célula huevo humana (el óvulo), por ejemplo, es la célula de mayor tamaño producida por el cuerpo humano (de los dos sexos), y es visible a simple vista. Tiene el tamaño aproximado de una cabeza de alfiler.

Para cuantificar el tamaño y comparar el óvulo humano de forma razonable con otras células, tanto mayores como menores, vamos a elegir una unidad de medida que nos resulte cómoda. El centímetro e incluso el milímetro son unidades demasiado grandes para la mayoría de las células, si exceptuamos determinadas células huevo. Por tanto, voy a utilizar la micra, que es la milésima parte de un milímetro. Para las medidas de volumen utilizaremos la micra cúbica, que es el volumen de un cubo de una micra de lado. Se trata de una unidad de volumen muy pequeña, como comprenderán si piensan que un centímetro cúbico (que resulta fácilmente visualizable) contiene 1.000.000.000.000 (un billón) de micras cúbicas.

En una pulgada cúbica (unos 16 centímetros cúbicos) hay un número de micras cúbicas igual a la tercera parte de las células que hay en el cuerpo humano. Esto, por si solo, nos indica que estamos manejando una unidad de magnitud correcta para trabajar con volúmenes celulares.

Volvamos, pues, a las células huevo. El óvulo humano es una pequeña esfera de unas 140 micras de diámetro, y por tanto de 70 micras de radio. Elevando 70 al cubo y multiplicando el resultado por 4,18 (les ahorro tanto la base lógica como los detalles de esta operación aritmética), tenemos que el óvulo humano ocupa un volumen de un poco más de 1.400.000 micras cúbicas. Pero el óvulo humano no es muy grande para ser una célula huevo. Los de los seres que ponen huevos, sobre todo las aves, son mucho mayores, y los huevos de ave, por grandes que sean, son células aisladas (por lo menos al principio). El huevo de ave más grande del que se tienen noticias era el del extinguido *Aepyornis* de Madagascar, también conocido como el ave elefante, y que según se dice puede haber dado origen al mito del «pájaro roc» de *Las mil y una Noches*. El roc era un pájaro tan grande que podía volar con un elefante en una de sus garras y un rinoceronte en la otra. Su huevo era tan grande como una casa. En realidad, el *Aepyornis* no era tan líricamente inmenso. No podía salir volando con ningún animal, por pequeño que fuera, ya que era totalmente incapaz de volar. Y su huevo era bastante más pequeño que una casa. No obstante, tenía un diámetro de unos 24 cm y una longitud de unos 33 cm, con un volumen de 9 litros, lo que ya resulta suficientemente tremendo si nos atenemos a la insípida realidad. No sólo se trata del huevo más grande jamás puesto por ave alguna, sino posiblemente también del más grande jamás puesto por cualquier criatura, incluyendo los grandes reptiles del mesozoico.

En efecto, el huevo del Aepyornis se acercaba al tamaño máximo que puede llegar a alcanzar un huevo con una cáscara de carbonato cálcico y sin ningún dispositivo de agarre ni tirante interno. Si admitimos que el huevo del Aepyornis es el más grande, entonces es también la célula más grande que se tiene noticia. Volviendo al aquí y ahora, el huevo más grande (y, por tanto, la célula) producido por una criatura viviente es el de avestruz. Mide entre 15 y 18 cm y tiene de 10 a 15 cm de diámetro, y, por si les interesa, un huevo de avestruz tarda cuarenta minutos en cocerse. Un huevo de gallina grande tiene un diámetro aproximado de 7,5 cm de longitud. El huevo de ave más pequeño es el de una especie de colibrí que pone huevos de poco más de un centímetro de longitud.

Ahora vamos a calcular el volumen aproximado de estos valores:

Huevo	Volumen (micras³)
Aepyornis	7.500.000.000.000.000
Avestruz	1.100.000.000.000.000
Gallina	50.000.000.000.000
Colibrí	400.000.000.000
Ser humano	1.400.000

Como ven, la escala de tamaños de los huevos es enormemente amplia. Incluso el huevo de ave más pequeño tiene un volumen unas 300.000 veces mayor que el del óvulo humano, mientras que el huevo más grande es casi 20.000 veces más grande que el menor.

En otras palabras, la relación entre el tamaño del huevo del Aepyornis y el del colibrí es la misma que existe entre el tamaño de la ballena más grande y el de un perro de tamaño mediano, y la relación entre el tamaño del huevo de colibrí y el óvulo humano es igual a la relación entre el tamaño de esa misma ballena y una rata grande.

Y, sin embargo, aunque el huevo está formado por una sola célula, no es el tipo de célula que podríamos considerar típica. En primer lugar, en su gran mayoría no se trata de materia viva. Es evidente que la cáscara no está viva, y la clara es simplemente un almacén de agua. La verdadera célula es, en realidad, la yema, e incluso ésta es casi en su totalidad un almacén de alimentos.

Si queremos hacernos una idea más real del tamaño de las células, concentrémonos en las que contienen un suministro de alimentos que sólo cubre las necesidades diarias; es decir, células que son en su mayor parte protoplasma.

Estas células sin yema tienen tamaños variables desde los límites de su visibilidad hacia abajo, del mismo modo que las células huevo tienen tamaños variables desde los límites de su visibilidad hacia arriba.

En realidad, estos grupos a veces se solapan. Por ejemplo, la ameba, un organismo autónomo simple formado por una sola célula, tiene un diámetro de unas doscientas micras y un volumen de 4.200.000 micras cúbicas, tres veces mayor que el óvulo humano.

Sin embargo, las células que constituyen los organismos multicelulares son considerablemente más pequeñas.

Los volúmenes de las diferentes células del cuerpo humano oscilan entre 200 y 15.000 micras cúbicas. Una célula del hígado, por ejemplo, ocupa un volumen de 1.750 micras cúbicas. Si consideramos cuerpos semejantes a células que no son células completas, los volúmenes se hacen menores.

Por ejemplo, el glóbulo rojo humano, que es una célula incompleta al carecer de núcleo, es bastante más pequeño que las células normales del cuerpo humano, con un volumen de sólo 90 micras cúbicas.

Por otra parte, mientras que el óvulo femenino es la célula más grande que producen los seres humanos, el espermatozoide masculino es la más pequeña. La mayor parte del espermatozoide es núcleo celular, en realidad sólo medio núcleo, y su volumen es de unas 17 micras cúbicas.

Es posible que esto les lleve a creer que las células que componen un organismo multicelular son demasiado pequeñas como para constituir fragmentos vivos individuales e independientes, y que una célula tiene que ser anormalmente grande para poder disfrutar de autonomía. Después de todo, una ameba es 2.400 veces más grande que una célula del hígado, así que es posible que ésta esté más allá del límite de compacidad necesario para que exista vida independiente.

Pero no es así. No hay duda que las células del cuerpo humano no pueden funcionar como organismos autónomos, pero esto se debe únicamente a que cumplen funciones demasiado especializadas y no a que sean demasiado pequeñas. Existen células que constituyen organismos independientes mucho más pequeños que la ameba, más pequeñas incluso que el espermatozoide humano. Me refiero a las bacterias.

Las bacterias más grandes no sobrepasan siquiera un volumen de 7 micras cúbicas, mientras que el volumen de las más pequeñas puede llegar a ser de 0,02 micras cúbicas.

Podemos resumirlo así:

Células sin yema

Volumen (micras³)

Ameba	4.200.000
Célula del hígado humano	1.750
Glóbulo rojo humano	90
Espermatozoide humano	17
Bacteria mayor	7
Bacteria menor	0,02

Una vez más nos encontramos con una gama muy amplia. La relación entre el tamaño de un organismo unicelular grande, como la ameba, y otro pequeño, como una minúscula bacteria, es la misma que la existente entre el tamaño de la mayor ballena adulta y un ejemplar mediano de la variedad más pequeña de musaraña. Y la diferencia de tamaños entre la bacteria más grande y la más pequeña es la misma que hay entre un elefante grande y un niño pequeño.

Ahora bien, ¿cómo demonios es posible que toda la complejidad de la vida quepa en una minúscula bacteria, doscientos millones de veces más pequeña que una simple ameba?

Una vez más, se trata de un problema relacionado con la compacidad, y es necesario que hagamos una pausa para reflexionar sobre las unidades. Cuando pensamos en el peso físico de un cerebro, éste no es más que una pequeña cantidad de tejidos. Pero cuando pensamos en el número de células que lo forman, se convierte en un complejo de pequeñas unidades tremendamente complicado. Del mismo modo, al hablar de las células, vamos a olvidarnos de las micras cúbicas y a empezar a pensar en términos de átomos y moléculas.

Una micra cúbica de protoplasma contiene unos 40.000.000.000 de moléculas. Teniendo esto en cuenta, podemos rehacer la última tabla en términos moleculares:

Células	Número de moléculas
Ameba	170.000.000.000.000.000
Célula del hígado humano	70.000.000.000.000
Glóbulo rojo humano	3.600.000.000.000
Espermatozoide humano	680.000.000.000
Bacteria mayor	280.000.000.000
Bacteria menor	800.000.000

En este punto resulta tentador afirmar que la molécula es la unidad de la célula, de igual manera que la célula es la unidad de los organismos multicelulares. De hacerlo, podríamos seguir con el razonamiento afirmando que la ameba es diecisiete millones de veces más

complicada, en términos moleculares, que el cerebro humano en términos celulares. En ese caso la compacidad de la ameba como recipiente de vida resultaría menos sorprendente. Pero este razonamiento oculta una trampa. Casi todas las moléculas del protoplasma son moléculas de agua, simples combinaciones de H_2O . Dios sabe que estas moléculas son esenciales para la vida, pero su función principal es servir de base para el desarrollo de otros procesos.

No son las moléculas características de la vida. Las moléculas que son verdaderamente características de la vida son las complejas macromoléculas de nitrógeno y fósforo: las proteínas, los ácidos nucleicos y los fosfolípidos. Todas ellas no representan más que una diezmilésima parte de las moléculas de los tejidos vivos.

(Ahora bien, no estoy diciendo que estas macromoléculas representen sólo 1/10.000 del peso de los tejidos vivos, sino del número de moléculas. Las macromoléculas individuales son mucho más pesadas que las moléculas de agua. Por ejemplo, una molécula de proteína es, por término medio, dos mil veces más pesada que una molécula de agua. En un sistema que estuviera compuesto por dos mil moléculas de agua y una molécula de proteína, el número de moléculas de proteína sólo representaría 1/2.001 del total, pero el peso de la proteína representaría 1/2 del total.)

Revisemos entonces la tabla una vez más:

Células	Macromoléculas de nitrógeno y fósforo
Ameba	17.000.000.000.000
Célula del hígado humano	7.000.000.000
Glóbulo rojo humano	360.000.000
Espermatozoide humano	68.000.000
Bacteria mayor	28.000.000
Bacteria menor	80.000

Por tanto, podemos decir que la célula humana es, por lo general, tan compleja, en términos moleculares, como el cerebro humano en términos celulares. Sin embargo, las bacterias son considerablemente más simples que el cerebro, mientras que la ameba es considerablemente más compleja.

Aun así, hasta la bacteria más simple crece y se divide con gran rapidez, y no hay nada menos simple, desde el punto de vista químico, que los procesos de crecimiento y división. Esa bacteria tan simple, apenas visible con la ayuda de un buen microscopio óptico, es un activo, complicado y completo laboratorio químico.

Ahora bien, la mayoría de las 80.000 macromoléculas que componen la bacteria más pequeña (digamos unas 50.000 poco más o menos) son enzimas, cada uno de ellos capaz de catalizar una determinada reacción química. Si en el interior de una célula se están produciendo continuamente 2.000 reacciones químicas distintas, cada una de ellas necesaria para el crecimiento y la multiplicación (esto también es una conjetura), entonces en cada reacción participan, por término medio, unos 25 enzimas.

Una fábrica en la que se llevaran a cabo 2.000 operaciones distintas con máquinas, cada una de las cuales empleara a 25 hombres, sería justamente considerada una estructura extremadamente compleja. Hasta la bacteria más pequeña alcanza esta complejidad.

También podemos considerarlo desde otro punto de vista. Alrededor del cambio de siglo, los bioquímicos empezaron a darse cuenta que, además de los elementos atómicos evidentemente presentes en los tejidos vivos (como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el azufre, el fósforo y otros), el cuerpo necesitaba también determinados metales en muy pequeñas cantidades.

Como ejemplo, pensemos en los dos últimos elementos que se han incorporado a la lista de metales presentes en pequeñas cantidades en el cuerpo humano, el molibdeno y el cobalto. En todo el cuerpo humano hay quizás unos 18 miligramos de molibdeno y 12 miligramos de cobalto. Esta cantidad, no obstante ser tan pequeña, resulta absolutamente esencial. El cuerpo no podría existir sin ella.

Y, lo que es aún más extraordinario, todos estos minerales presentes en pequeñas cantidades, incluyendo el molibdeno y el cobalto, parecen ser esenciales para todas y cada una de las células. Si dividimos unos 15 miligramos de estos elementos entre los cincuenta billones de células del cuerpo humano, ¡qué pequeñísima parte de otra pequeñísima parte le corresponde a cada una! Parece evidente que las células podrían pasarse sin ella.

Pero sólo es así si persistimos en pensar en términos de las unidades de peso corrientes, en lugar de pensar en términos de átomos. En una célula cualquiera hay, aproximadamente, unos 40 átomos de molibdeno y de cobalto por cada mil millones de moléculas. Por tanto, vamos a hacer otra tabla más:

Células	Número de átomos de molibdeno y cobalto
Ameba	6.800.000.000
Célula del hígado humano	2.800.000
Glóbulo rojo humano	144.000
Espermatozoide humano	27.200
Bacteria mayor	11.200

Bacteria menor

32

(Atención, las células que aparecen en la lista no son necesariamente «comunes». Sé, con bastante seguridad, que una célula del hígado contiene una cantidad mayor que la media de estos átomos, y que el glóbulo rojo contiene una cantidad menor; del mismo modo, en la tabla anterior el espermatozoide, desde luego, contiene una cantidad mayor que lo normal de macromoléculas. Sin embargo, me niego rotundamente a andarme con sutilezas.)

Como ven, después de todo, los minerales presentes en pequeñas cantidades tampoco son tan escasos. Una ameba contiene miles de millones de átomos, y una célula del cuerpo humano, millones de éstos. Hasta las bacterias más grandes contienen miles de ellos.

Pero las bacterias más pequeñas sólo tienen un par de docenas de estos átomos, y esto concuerda con mi anterior conclusión que las bacterias más pequeñas pueden tener una media de 25 enzimas que intervienen en cada reacción.

El cobalto y el molibdeno (y los otros metales presentes en pequeñas cantidades) resultan esenciales, porque son claves para importantes enzimas. Suponiendo que haya un átomo por cada molécula enzimática, en total sólo hay un par de docenas de estas moléculas en la bacteria más pequeña.

Aquí es posible que nos parezca que nos acercamos al límite mínimo. Es poco probable que el número de enzimas diferentes esté distribuido regularmente. En algunos casos habrá más de un par de docenas, y en otros menos. Es posible que sólo estén presentes uno o dos enzimas clave determinados. Para una célula con un volumen de menos de 0,02 micras cúbicas, las probabilidades que algunas enzimas clave sean empujadas fuera de ésta son cada vez mayores; de ocurrir esto, la célula dejaría de crecer y de multiplicarse.

Por tanto, resulta razonable suponer que la bacteria más pequeña visible con ayuda de un buen microscopio óptico es verdaderamente la porción más pequeña de materia en la que es posible introducir todos los procesos característicos de la vida. Visto de esta manera, esta bacteria representa el límite de compacidad en lo que se refiere a los organismos vivos.

Pero, ¿y los organismos que son aún más pequeños que la más pequeña bacteria y que, al carecer de algún enzima o enzimas esenciales, no crecen ni se desarrollan en condiciones normales? ¿Podemos considerarlos como organismos completamente inertes por el hecho que no tienen una vida autónoma?

Antes de responder, tengamos en cuenta que esos pequeños organismos (que podemos llamar subcélulas) siguen siendo potencialmente capaces de crecer y multiplicarse. Esta potencialidad puede traducirse en hechos si les proporcionamos la enzima o enzimas necesarias para ello, y éstos sólo pueden proceder de una célula viva completa.

Por tanto, una subcélula es un organismo que tiene la capacidad de invadir una célula para crecer y multiplicarse en su interior, utilizando la dotación enzimática de ésta para suplir sus deficiencias.

Las subcélulas más grandes que existen son las rickettsias, que toman su nombre de un patólogo americano, Howard Taylor Ricketts, quien en 1909 descubrió que los insectos eran los agentes transmisores del tifus exantemático de las montañas Rocosas, enfermedad producida por estas subcélulas. Murió al año siguiente de fiebre tifoidea, de la que se había contagiado en el curso de sus investigaciones sobre esta enfermedad, que también transmiten algunos insectos. Tenía treinta y nueve años, y la recompensa que obtuvo por sacrificar su vida por el bien del género humano fue, como ya pueden imaginarse, el olvido. Las rickettsias más pequeñas se confunden con los virus (no hay una divisoria claramente marcada), y los más pequeños de entre éstos sobrepasan el tamaño de los genes, que se encuentran en el núcleo de las células y que llevan en su estructura información genética parecida a la de los virus.

Para seguir hablando de estas subcélulas, vamos a dejar de utilizar la micra cúbica como unidad de volumen, porque de no hacerlo tendríamos que trabajar con decimales pequeñísimos. En su lugar utilizaremos la milimicra cúbica. Una milimicra es la milésima parte de una micra.

Por tanto, una milimicra cúbica es $1/1.000$ por $1/1.000$ por $1/1.000$, o una milmillonésima parte de una micra cúbica. En otras palabras, el volumen de la bacteria más pequeña, 0,02 micras cúbicas, es igual a 20.000.000 milimicras cúbicas. Ahora podemos presentar una tabla de volúmenes de las subcélulas:

Subcélulas	Volumen (milimicra³)
Rickettsia de la fiebre tifoidea	54.000.000
Virus de la viruela vacuna	5.600.000
Virus de la gripe	800.000
Bacteriófagos	520.000
Virus del mosaico del tabaco	50.000
Gen	40.000
Virus de la fiebre amarilla	5.600
Virus de la pezuña del caballo	700

Las subcélulas presentan grandes diferencias de volumen. La rickettsia más grande es tres veces mayor que la bacteria más pequeña. (No es sólo el tamaño el que determina la condición de subcélula, sino la ausencia de al menos un enzima esencial.) Por otra parte, la

subcélula más pequeña tiene un tamaño de sólo $1/3.500$ del de la bacteria más pequeña. La relación de tamaños entre la subcélula más grande y la más pequeña es la misma que hay entre la ballena más grande y un perro de tamaño medio.

A medida que bajamos por la escala de subcélulas, disminuye el número de moléculas.

Naturalmente, las macromoléculas de nitrógeno-fósforo no desaparecen por completo, ya que la vida, aunque sólo sea una lejana posibilidad de vida, es imposible sin ellas (al menos la forma de vida que conocemos). Las subcélulas más pequeñas están formadas únicamente por una pequeñísima cantidad de estas macromoléculas, sólo por los elementos imprescindibles para la vida, sin ningún elemento superfluo, por decirlo así.

Sin embargo, el número de átomos sigue siendo bastante considerable. Una milimicra cúbica es capaz de contener varios cientos de átomos si se agrupan con el mayor grado de compacidad posible, lo que desde luego no ocurre en los tejidos vivos.

Así, el virus del mosaico del tabaco tiene un peso molecular de 40.000.000, y los átomos de los tejidos vivos tienen un peso molecular medio de 8 aproximadamente.

Subcélulas	Número de átomos
Rickettsia de la fiebre tifoidea	5.400.000.000
Virus de la viruela vacuna	560.000.000
Virus de la gripe	80.000.000
Bacteriófagos	52.000.000
Virus del mosaico del tabaco	5.000.000
Gen	4.000.000
Virus de la fiebre amarilla	560.000
Virus de la pezuña del caballo	70.000

(Todos los átomos, excepto el de hidrógeno, tienen pesos atómicos muy superiores a 8, pero el elevado número de átomos de hidrógeno, cada uno con un peso atómico de 1, hace bajar la media.)

Esto quiere decir que en un virus del mosaico del tabaco hay aproximadamente 5.000.000 de átomos, unos 100 átomos por milimicra cúbica. Por tanto, podemos confeccionar una nueva versión de la tabla anterior:

Por tanto, parece ser que los elementos imprescindibles para la vida pueden estar contenidos en sólo 70.000 átomos. Por debajo de este nivel nos encontramos con moléculas de proteínas ordinarias, evidentemente inertes.

Algunas moléculas de proteína (evidentemente inertes) llegan a tener más de 70.000 átomos, pero lo normal es que estas moléculas contengan de 5.000 a 10.000 átomos. Por consiguiente, vamos a considerar que 70.000 átomos es la «unidad mínima de vida». Como una célula humana normal contiene macromoléculas formadas por un número total de átomos al menos quinientos millones de veces mayor que la unidad mínima de vida, y como la corteza cerebral humana contiene diez mil millones de células, no es de extrañar que el cerebro sea lo que es.

De hecho, lo que resulta pasmoso es que el género humano se las haya arreglado, menos de diez mil años después de inventar la civilización, para reunir unos cuantos miles de unidades tremendamente simples y construir con ellas ordenadores con resultados tan satisfactorios. Imagínense lo que podría ocurrir si fuéramos capaces de construir unidades compuestas de quinientos millones de elementos, y luego utilizáramos diez mil millones de estas unidades para diseñar un ordenador. Vaya, es posible que se obtuviera algo que, en comparación, hiciera parecer al cerebro humano un petardo mojado.

¡Mejorando lo presente, por supuesto!

Nota

Me divierte hacer comparaciones y estudiar las propiedades según las cuales aumentan y disminuyen las cantidades, recorriendo cada peldaño hasta llegar a los extremos, como he hecho en los ensayos precedentes.

Finalmente, acabé por dedicar todo un libro a este ejercicio, y lo titulé *La medida del Universo* (*Measure of the Universe*, Harper Row, 1983). Empezaba con una medida ordinaria, por ejemplo un metro, e iba subiendo peldaños de medio orden de magnitud cada uno. Después de 55 peldaños llegaba a la circunferencia del Universo. Luego iba bajando los peldaños a partir de un metro y, después de recorrer 27, llegaba al diámetro del protón. También seguí este procedimiento para las medidas de superficie, volumen, masa, densidad, presión, tiempo, velocidad y temperatura, y me divertí más de lo que puedo expresar con palabras.