

LOS ORÍGENES DE LA FORMA

Christopher Williams
Editorial Gustavo Gilli, S. A.

Introducción

"No parece dotado para ninguna forma de vida", dijo el tercer hombre sabio... "No es rápido de piernas, no puede subir a los árboles, no puede cavar pozos en la tierra. No tiene medio de sustento para su vida ni forma de escapar de sus enemigos."

"Si se trata de un animal vivo - dijo el maestro -, deberemos reconocer que a veces la Naturaleza se equivoca."

..."Sí... es un monstruo de la Naturaleza", dijeron todos, saliendo de la habitación.

El intento de identificar al diminuto Gulliver, en "Los viajes de Gulliver", de Jonathan Swift

Es posible que la vida haya comenzado en este planeta en un charco salado y cálido, a las orillas de un océano que se enfriaba, y en algún momento de hace dos o tres billones de años. Pudo ocurrir que en esa ordinaria grieta con agua se hayan hecho presentes las cantidades molecularmente correctas de carbón, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, y que esos elementos se hayan yuxtapuesto correctamente bajo una descarga eléctrica durante una arcaica tormenta. Los elementos se unieron y así quedó formado un aminoácido. Esta situación pudo haberse repetido en innumerables ocasiones, a lo largo de vastos períodos y en muchos medios físicos distintos, con fracasos y con éxitos que a su vez llevaron a nuevos fracasos. Posteriormente, algunos aminoácidos formaron proteínas que hicieron surgir algas, que fueron probablemente las primeras plantas. Las algas se convirtieron en alimento para protozoarios unicelulares, los primeros auténticos animales.

Las modificaciones y las limitaciones alteraron formas y estructuras con el paso de millones de años; algunas especies se ramificaron y dividieron, mientras un cambio se superponía a otro. La pirámide descendió desde su vértice, hasta que finalmente el único rasgo común que quedó fue la esencia de la vida y el vínculo de la herencia, que retrocedía hasta aquella existencia primaria. Lo primero hace surgir lo segundo, que a su vez hace surgir lo tercero; de lo simple se pasa a lo complejo. Cada animal debe su vida y su propio aspecto a su predecesor, pero después de recibir la herencia, y antes de pasarla, se produce un ligerísimo cambio, con lo que familias completamente nuevas inician su ruta.

Las familias y especies así multiplicadas se ayudaron entre sí, pero también compitieron entre sí. Las de mayor éxito descubrieron sitios especializados que podían ocupar y descubrieron métodos que podían aplicar en sus vidas. La especialización se convirtió en el modo de la supervivencia. Algunas formas de vida encontraron una forma de vivir en la profundidad del mar, o una forma de migrar plegándose a otros organismos anfitriones, o formas de nadar rápido, de cavar hondo, de existir en un desierto, de hinchar sus cuerpos para escapar de un enemigo.

Sólo en las etapas más recientes de la historia biológica comenzó a tomar forma el linaje del ser humano; en el comienzo, era muy diferente.

Antes de llegar a fabricar sus instrumentos, los humanoides pudieron poseer muy poco que les diferenciara de sus antepasados, pero los cambios se estaban produciendo en su interior. El sistema nervioso central se desarrollaba con mayor excelencia, la capacidad del cerebro se amplió, los ojos se hicieron capaces de quedar enfocados hacia un punto fijo durante períodos prolongados, y los primeros seres humanos desarrollaron la capacidad psicológica de dispensar una prolongada atención visual. La postura más erguida llevó la cabeza hacia atrás, como factor de equilibrio, dando a los ojos un amplio campo de visión, que se hizo necesario cuando el hombre emergió de la selva hacia la llanura abierta, donde la vida era más peligrosa.

Esta nueva criatura no podía correr con mucha rapidez ni tampoco sobresalía en saltar, nadar o cavar pozos. No podía colgarse de los árboles con demasiada seguridad. Sus dientes estaban poco desarrollados para cortar o triturar; no tenía mucho aliento ni era terriblemente fuerte. No era un buen cazador ni tampoco un buen recolector de frutas. Pero era el único animal que podía hacer todas esas cosas, aunque sólo fuera a un nivel moderado. Ese animal no tenía especialización ni poseía un ambiente especial. Había nacido el primer animal generalista.

Ni siquiera es especializada la mano humana, con su pulgar en posición opuesta a los otros dedos. Kenneth Oakiey escribe: Si se la considera anatómicamente, la mano aprehensora de los monos menos especializados sería capaz de fabricar instrumentos si fuera dirigida por un

cerebro adecuado; en muchos sentidos, nuestras manos son más primitivas que las de los simios antropoides, nuestros parientes vivos más próximos. De hecho, la mano humana de cinco dedos es tan generalizada que habría que buscar entre los primeros mamíferos, o incluso retroceder a los reptiles de donde esos mamíferos surgieron, para encontrar una simplicidad tan primitiva,

Nuestras manos son los instrumentos de un animal generalista, y no son buenas para levantar pulgas ni para quebrar caparazones ni prenderse de las ramas ni transportar agua ni construir una casa ni un reloj. Sin embargo, y tal como ocurre con nuestros cuerpos, las manos pueden hacer todas esas cosas, aunque sólo a un nivel adecuado. Aun siendo toscas, esas manos de cinco dedos son dirigidas por un sistema nervioso central de aguda sensibilidad y por un cerebro creativo y dedicado, con lo que pueden confeccionar instrumentos. Los instrumentos que ellas fabrican son los que obtienen la especialización que la mano misma no posee, y los que consiguen que los seres humanos sean expertos y especialistas en prácticamente todo.

Volamos más alto, cavamos más hondo, nos movemos más rápido, construimos en mayor tamaño que ningún otro ser que haya habitado la Tierra durante unos tres billones de años. Los seres humanos pueden hacerlo, y asimismo los seres humanos deben hacerlo. Casi toda otra criatura de la Tierra posee su sitio y su actividad especiales, sin lo cual no podría sobrevivir. La Humanidad no posee tal cosa, y por lo tanto debe construir, formar y diseñar, para cambiar su ambiente y hacerlo habitable.

Aunque sean ajenas a muchos aspectos de la red biológica, las cosas que la gente construye, la forma de esas cosas, los materiales empleados, las leyes que controlan tamaños y estructuras, no son muy diferentes a las que operan en todo el mundo natural. Las cosas que construimos tienen una apariencia singularmente humana, y así debe ser, pero la metodología que está tras la forma es planetaria.

Este libro es un llamamiento -a quien conozca su ambiente físico, y especialmente a quienes diseñan y construyen, ahora o en el futuro- para apartarse de las suposiciones y de la indiferencia respecto a las formas que se han creado en nuestro ambiente humano. Hay mejores caminos para hacer las cosas: mejores formas, mejores sistemas. ¿Cómo podemos encontrar esos caminos? Las páginas siguientes procuran alentar al lector para que se mantenga alerta: mirando, viendo cómo llegó a ser aquello que tenemos, comprendiendo claramente lo que puede ser y lo que no puede ser, hasta qué punto algo deberá ser grande o pequeño, de qué materia será hecho, cómo se relacionan sus partes entre sí, qué efecto han ejercido sus predecesores, cómo funciona, cómo será modificado por el uso, qué leyes influyeron en su desarrollo, cómo se podría hacer de otra manera.

Las nociones y los hechos de estas páginas derivan de una variedad de fuentes: la mecánica, la estructura, los materiales, la geología, la biología, la antropología, la paleología, la morfología y otras. Los hechos que aquí se presentan son los habituales en tales especializaciones, pero también son esenciales para la comprensión por el diseñador y para una comprensión de la forma.

Hemos comenzado como generalistas, y durante dos millones de años las actividades humanas se han hecho más amplias y más generalizadas. Pero a medida que la sociedad se ha vuelto más generalizada, los seres humanos se hicieron más especializados, principalmente en los años recientes. Para comprender y guiar la actividad humana, hace falta quien aporte una visión general, y ahora más que antes. El diseñador debe ser uno de esos generalistas, comprensivo de muchas cosas, capaz de asimilar la enorme cantidad de conocimiento que los especialistas han generado.

1 Forma y materia

Empujado por la cascada informe de compuestos gaseosos, de mezclas, de moléculas y de átomos libres, un solo átomo de hidrógeno es apartado de la batería que se recarga en el

automóvil hasta el recinto turbulento del motor en un auto veloz. Con un empuje de viento, el átomo es llevado hasta el aire campestre, a un costado de la autopista. El átomo ha quedado liberado de un compuesto de ácido clorhídrico en la batería del coche, lo cual ha constituido una breve vinculación de sólo dos años, contados desde su último estado de libertad. El coche desaparece prontamente y una última ráfaga de viento eleva al átomo sobre la hierba, donde se desplaza hacia el Oeste, a seis metros de altura. En pocos segundos otros dos átomos circundan simultáneamente al átomo de hidrógeno e instantáneamente forman con él una molécula. El estado libre de aquel primer átomo ha cesado rápidamente. Uno de los nuevos acompañantes es otro átomo de hidrógeno, y el segundo es un átomo de oxígeno. La nueva unidad formada es una molécula de agua. Esa flamante molécula se eleva en zigzag dentro de una corriente térmica, al finalizar la tarde.

La atmósfera es seca y el aire contiene pocas partículas y moléculas de agua. Pero a pesar de su relativo aislamiento, otras moléculas de agua se unen en esta flotación hacia arriba; cuando pasan a corta distancia unas de otras, se reúnen de inmediato. Unas moléculas se juntan con otras y ese nuevo grupo se convierte en una perceptible partícula de agua, que se desplaza serenamente a varios centenares de metros sobre un campo de alfalfa. El sol se oculta, el aire se enfría, la humedad se concentra y la partícula de agua crece tanto con las nuevas adiciones que ya no puede permanecer en la altura: se cae.

Al amanecer del día siguiente, una esfera de rocío, en la que está contenido aquel átomo de hidrógeno, cae sobre una hoja de alfalfa. A ella se unen otras partículas de agua, y la gota cae sobre la tierra. El día se calienta y la mayor parte de la humedad, cercana a la superficie de la hierba, se convierte en vapor de agua y nuevamente se eleva. Nuestro átomo de hidrógeno, sin embargo, forma parte de una molécula que cae sobre el suelo. Allí queda durante tres días, hasta que una raicilla de alfalfa, procedente de una cercana planta de alfalfa, empuja entre los canales de aire existentes en el suelo. La punta de esa raíz construye una célula tras otra, en impulsos lineales; cada célula acerca ese extremo a una diezmilésima de pulgada. La raicilla establece contacto con la tierra húmeda y rápidamente absorbe a la molécula.

Durante las cinco horas siguientes el átomo de hidrógeno es llevado dentro y fuera de combinaciones complejas o simples y desplazado a lo largo de dos metros y medio de tubos de conducción de savia. Finalmente, queda dentro de una molécula junto a seis átomos de carbono, seis átomos de oxígeno y otros once átomos de hidrógeno, es un compuesto líquido y viscoso denominado glucosa. Nuestro átomo ocupa parte de una molécula en el extremo

1-1 Todos los materiales existen en uno u otro de los tres estados en que se puede hallar la materia. La temperatura y la presión regulan su disposición a uno u otro, en un momento dado. Muchas sustancias pueden pasar del estado gaseoso al líquido y al sólido, con un cambio de pocos grados en la temperatura. Con presiones atmosféricas normales, el agua es gaseosa (vapor de agua) a partir de los 100° centígrados, es líquida entre 0 y 1000, y es sólida por debajo del cero. No son muchas las sustancias que cambien de manera tan marcada con tan escasa variación en la temperatura. Otros materiales llegan a la combustión con la temperatura ambiente, como el fósforo. Ciertas sustancias que consideramos líquidas, como el mercurio, son de hecho un metal derretido, que llega a su estado sólido a los 38° bajo cero.



posterior de la tercera hoja, contada desde el extremo superior, en una planta de alfalfa, grande pero poco saludable, cerca del extremo sur del campo.

De julio se pasa a agosto y de éste a septiembre. La alfalfa es cosechada, secada, embalada y luego depositada en un recinto del granero. En febrero, la alfalfa es comida por una vaca. En las horas siguientes, el átomo de hidrógeno es liberado y luego reabsorbido en un revuelo de procesos químicos y de movimientos que se llaman digestión, absorción, circulación, distribución y utilización. Hacia la medianoche, el átomo queda firmemente alojado dentro de un compuesto que integra la pared de un folículo piloso nuevo, en el interior del cuero que cubre los costados de la vaca. Ese pelo crece durante el invierno y luego cae sobre el lodo junto a la hierba primaveral. El sol, el calor, la humedad y las bacterias descomponen nuevamente al pelo y una ráfaga de viento eleva al átomo de hidrógeno, ahora liberado, sobre el corral.

Estos interludios son cortos dentro de la prisa de la vida orgánica. La piedra, en cambio, puede atrapar a un átomo durante billones de años. El viaje del átomo sólo se produce entonces tras las condiciones cambiantes de la superficie terrestre. La posibilidad de que ese otro átomo pueda elevarse a centenares de metros sobre la tierra se hace así muy escasa.

Los átomos son la agrupación de menor tamaño en la definición de una sustancia material. Dentro de la composición del átomo quedan determinadas las características de los materiales. El átomo es el bloque con que se construyen los elementos. Los átomos son muy sólidos como unidades, y pueden quedar intactos ante casi cualquier ataque de las fuerzas que encuentren: El calor, la reacción química, la descarga eléctrica. En casi todos los casos, los átomos son lo bastante estables como para perdurar a través de una cantidad indefinida de años. Parte de su tiempo transcurre en soledad, como átomos independientes y no asociados, que van a la deriva por el espacio. Algunos átomos quedan independientes durante más tiempo que otros, porque tienen menos asociados que les sean compatibles: otros átomos con los que puedan unirse prontamente. Algunos de ingreso más rápido, como los del carbono y del oxígeno, pueden atravesar una procesión casi indefinida de materiales, en un ciclo continuo de crecimiento, caída y nuevo crecimiento. Se forman materiales, que prosiguen su limitada existencia hasta la posterior dispersión y destrucción, y así los átomos dan una vuelta tras otra. (1)

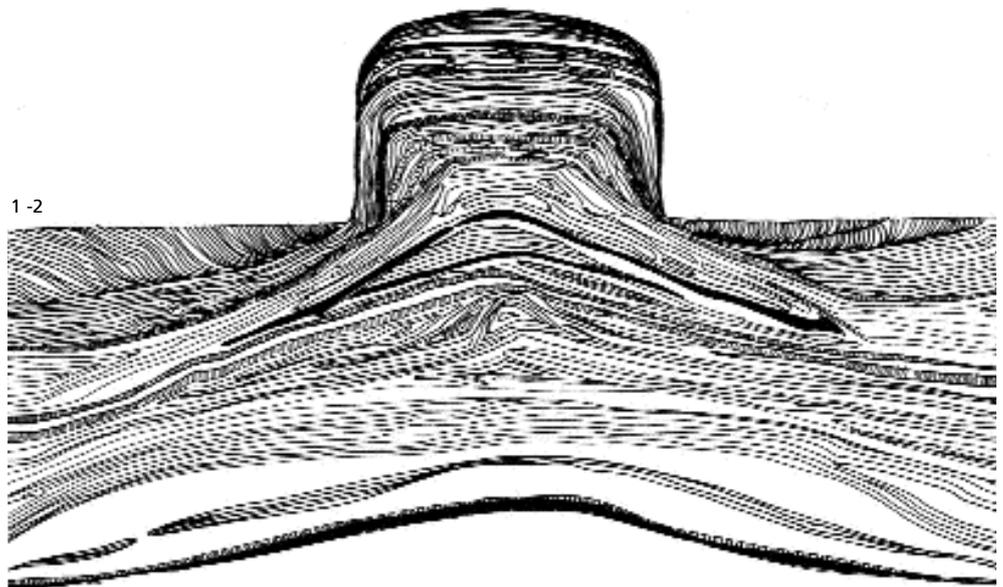
La definición de la materia se detiene en el átomo, pero la materia puede ser analizada hasta elementos componentes más pequeños. Si se prosigue hasta su espacio interior, continúan hallándose partículas subatómicas de materia (electrones, protones y una cantidad de otras recientemente descubiertas), que son divididas y subdivididas dentro de lo que puede ser un proceso infinito de disminución. Puede ocurrir que sea imposible indentificar la materia a partir de cierto punto de origen. Puede no existir una partícula coherente en la que se apoye todo lo que conocemos como sustancia. El espacio entre esa materia en desaparición es, sin embargo, totalmente coherente, en un continuum que va desde lo infinitamente pequeño, dentro de un flujo consistente, hasta más allá del universo. En definitiva, el espacio puede ser más una realidad que la materia, y ésta ser negativa: acumulaciones de huecos que van a la deriva y que están en suspensión dentro de la solidez del espacio.

Sin embargo, debemos operar dentro de nuestra gama de aceptación. Sabemos que la materia se divide en tres estados y que dentro de nuestro tiempo propio, nuestras percepciones son una realidad. Las tres grandes divisiones de la materia son: líquidos, sólidos y gases. Quizá la mejor forma de percibir los tres estados sea como una combinación entre ellos, viendo la materia desde dentro y considerándola en términos de tiempo y de espacio.

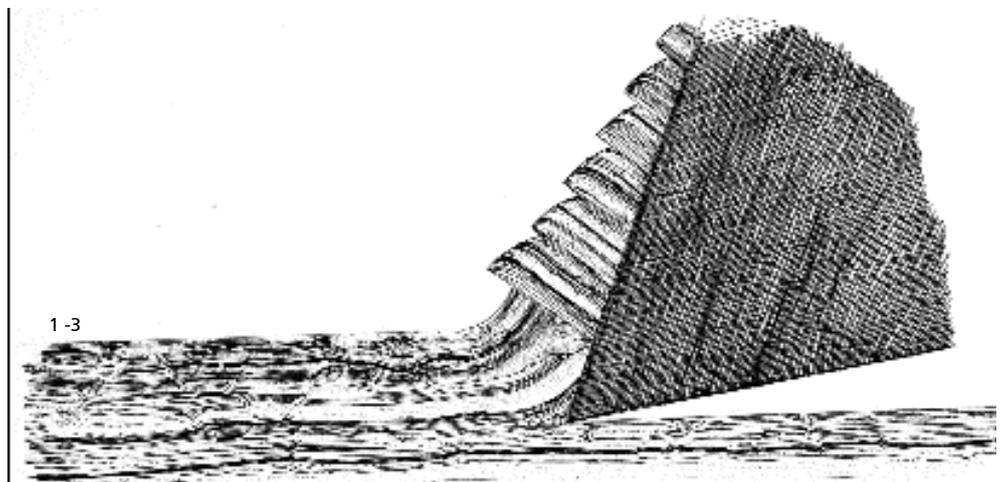
A una temperatura superior a los 3000 grados centígrados, el hierro se convierte en vapor. Las moléculas de hierro quedan tan cargadas de energía térmica que se precipitan por el espacio y se disipan si no se las contiene. En tal estado gaseoso, el hierro contiene tanto espacio que se hace difícil si no imposible verlo. Pesa sólo miligramos en cada pie cúbico, no tiene otra forma que la de su recipiente y su volumen es de determinación imposible, porque el material se expande infinitamente. Si se enfría por debajo de los 3000 grados centígrados, el vapor de hierro se precipita y condensa, reduciéndose el espacio entre sus moléculas, a medida que éstas

se hacen menos activas y se acercan unas a otras. Desde los 3000 a los 1500 grados, el hierro queda en estado líquido. El volumen queda considerablemente reducido, con relación a una cantidad dada de materia, y esa actividad molecular más moderada deriva en una masa líquida y coherente. Alrededor de los 1500 grados, el hierro comienza a cristalizarse. La actividad molecular sigue disminuyendo, y prosigue la reducción del espacio entre las moléculas; se forma una retícula cristalina y se dice así que el material es un sólido. Las moléculas, aunque son mantenidas con cierta firmeza dentro de sus relativas posiciones geométricas, vibran aún con

1-2 El hierro sólido, y no calentado, que haya sido sometido a enorme presión, fluye como un semilíquido. El dibujo fue realizado a partir de una fotografía en la que se muestra una sección transversal del hierro, deformado entre dos piezas de una prensa, y luego marcado con una solución de ácido clorhídrico, que revela las bandas fibrosas del hierro, cuando se empujan entre sí hacia la apertura de la prensa, que es el punto de menor resistencia. El hierro no es homogéneo, sino que se integra con otros elementos e impurezas, y éstas, bajo la presión y el fluido, forman estratificaciones que se conocen como bandas "Luders".



1-3 La utilización del acero en maquinarias depende de la capacidad de flujo que tenga el material. Aquí se ve el filo de una herramienta de corte, que elimina cinco milésimas de pulgada (0,01 27 cm) de la superficie de una pieza de acero. En el punto delantero del instrumento, el material cortado queda separado y se ve obligado a fluir hacia arriba, formando una espiral. Para un pulido nítido y suave es esencial que la esquirra se aparte del punto de corte, a fin de reducir la fricción, el esfuerzo y el calor. Cuando el instrumento cortante ha sido colocado en un ángulo inadecuado, o cuando está roto, la herramienta "carga", o sea, que acumula material por delante del filo. Esa derivación perjudica al corte mismo y produce una superficie rugosa.



la excitación de su anterior energía térmica. En teoría, si continúa reduciéndose el calor del material, se elimina más espacio entre una molécula y otra, con lo que la actividad molecular se hace más lenta, hasta un punto de total carencia de movimiento en un cero absoluto: quizás un estado al que sea imposible llegar.

Comprender la unidad entre tales tres estados puede ser más revelador que definir sus diferencias. El mundo, tal como lo conocemos, es un conjunto, en el que todas sus partes responden a las mismas leyes terrenales; toda la sustancia en nuestro derredor posee la misma base fisicoquímica; todas las partículas de materia están moldeadas por las mismas leyes físicas. La unidad estructural es el tiempo.

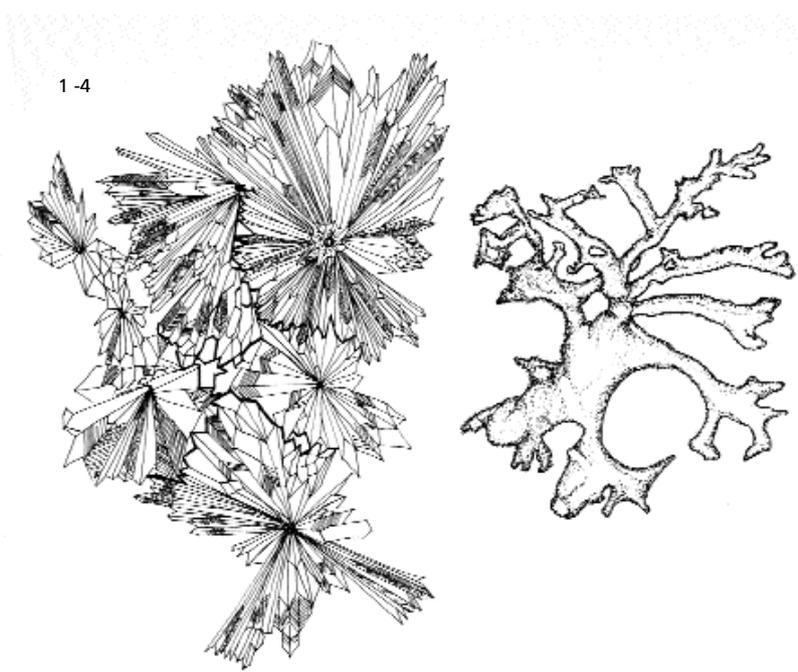
Si se le concede bastante tiempo, toda la materia es fluida. La geología, como estudio del tiempo y de la materia, ve cómo la rígida estructura de la superficie terrestre se levanta, se incorpora, se pliega y se desliza, igual que una sábana agitada por el viento. La visión del geólogo es desde una perspectiva de billones de años, tras la cual el panorama de las formas terrestres pasa como un relámpago. La montaña de granito es una arruga momentánea, que no estaba allí ayer y que desaparecerá mañana. En lo profundo de la corteza terrestre, los guijarros redondeados, tras haber pasado un milenio en la superficie, son llevados a capas subterráneas, donde quedan atrapados en una arcilla que los solidifica. Los guijarros redondos, compuestos de sólida roca cristalina, fluyen bajo enormes presiones, que los convierten en elipses y luego en discos, a medida que billones de años los comprimen en diferentes composiciones y configuraciones dentro de un medio metamorfofísico.

El flujo del material sólido puede ser descrito también en centenares de años. Los glaciares de hielo compacto fluyen como ríos, expresando minutos que se componen de siglos. Las viejas ventanas de iglesias se desvanecen lentamente hacia abajo, donde los siglos reúnen el color de los vidrios. La veta de crecimiento de un árbol queda reseñada en decenios, cuando fluye entre nudos y agujeros, mientras el árbol mueve su estructura para adquirir su configuración. (2)

A medida que fluyen de una forma a otra, algunos materiales diferentes responden a menudo de una misma manera al ser sometidos a acciones similares. Un bloque de acero, atrapado bajo la herramienta cortante de una máquina pulidora, habrá de reflejar dibujos familiares mientras el brazo cortador se desplaza hacia atrás y hacia adelante sobre la superficie del bloque. Cada

1-4 A la izquierda se ven cristales de azúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) y a la derecha una célula pigmentada de piel de rana. En ciertos sentidos, ambas cosas son típicas de las categorías a las que representan: lo mineral y lo orgánico. Los cristales de azúcar comienzan a crecer desde un punto dado y en direcciones radiales.

Sus formas son la línea recta y el ángulo agudo. En la célula de rana, por el contrario, todo el crecimiento se produce dentro de los límites que fijan las paredes de la célula. La pauta de ese crecimiento es más azarosa y la forma queda redondeada con líneas curvas. Los ángulos marcados y las líneas rectas se ven muy rara vez en las formas orgánicas.



corte arranca una viruta de acero que se pliega hacia atrás, como la onda de tierra que se forma junto al filo del arado o la de agua junto al remo del bote que se desplaza. Si no se toma el tiempo en consideración, se podría ver que los materiales de la superficie terrestre parecerían caer en cascadas, fluir, encogerse, dispersarse, desde una posición de resistencia a la gravedad hasta otra de aceptación ante ella. La velocidad de su movimiento queda determinada por su resistencia a la atracción de la gravedad o por su solidez relativa.

El resultado de todas las vastas fuerzas geológicas activas es el movimiento de los materiales de la corteza terrestre, sea hacia arriba o hacia abajo. El movimiento hacia arriba es habitualmente violento y enorme. Capas de tierra, de un grosor de centenares o millares de metros, se pliegan o arrugan en alturas de montañas, como un campo de hielo que se desplaza y se quiebra. Algunos depósitos de piedra licuada estallan y luego se endurecen, formando volcanes cónicos o islas. La acción termina rápidamente y sus resultados son impresionantes. El movimiento hacia abajo y el proceso de nivelación es siempre, sin embargo, la expresión final. Rara vez son excitantes, y a menudo no se los puede casi advertir, por su lentitud. Un agua turbia por su arcilla suspendida se desplaza, escurriéndose en las corrientes de los grandes ríos, hasta sitios que pueden estar a cientos de millas, para depositar allí los fragmentos y las partículas de esos despojos, que quedan a un nivel apenas inferior al de sus puntos de origen. La arena, los guijarros, los cantos rodados se desplazan por los lechos de los ríos o se deslizan a los costados de los valles. Una áspera pared de un cañón, recubierto por la arena, la arcilla y las piedras de cualquier tamaño, desplaza ese material cuesta abajo, imperceptiblemente, quizás a un ritmo de unos veinte centímetros por año. Un bloque monolítico de piedra, procedente de la edad glacial, que tras el retiro de los hielos haya quedado en un pequeño plano inferior, se hunde a una velocidad cercana a los dos centímetros en unos tres mil años.

Si los movimientos internos de la Tierra se aquietaran y si las montañas dejaran de formarse, el viento y la lluvia, el hielo y el sol, las plantas y los animales, limarían lenta pero continuamente todas las alturas, las mesetas y las praderas elevadas, llevándolas a los sitios bajos: a las profundidades oceánicas, al lecho de los mares, a los valles de los ríos. Posteriormente dejarían de existir un arriba y un abajo: todo quedaría igualado y nivelado. (3)

Estos procesos - la separación y la disminución, la construcción y la reunión- ayudan a motivar la evolución de la forma en sus amplias variaciones. La primera división de un control de la forma, derivada de los materiales, procede de esas influencias de la adición y la sustracción. Una segunda categoría se debe a la diferencia entre lo orgánico y lo químico; cada uno de esos procesos atraviesa sus etapas de aumento y declinación, lo que afecta a la forma por caminos separados y diferentes.

La forma orgánica de expansión es habitualmente una superficie suave y redondeada; es hueca, y un borde se comprime contra el borde vecino. La forma orgánica aparece desarrollada desde dentro, como un globo que se infla con aire comprimido. El agregado de nuevo material se produce dentro del organismo: dentro de la corteza del árbol, de la superficie de una hoja, de la piel humana. La superficie orgánica es empujada hacia afuera, en un intento por contener a la sustancia en expansión que empuja desde dentro. Una habichuela fresca y verde, que emerge de su vaina, muestra una tirante transparencia en su pulida superficie. El crecimiento comprime al material orgánico en su recipiente, como plumas que rellenan una almohada. La parte interior queda en estado de compresión, pero la parte exterior está en tensión, y es este estiramiento de la superficie el que da la clave a las formas de origen orgánico.

Para reconstruir la lógica dentro del proceso de construcción en la forma orgánica, es necesario apartarse provisoriamente para explicar un fenómeno llamado tensión superficial. Un insecto se deslizará sobre la superficie de un lago quieto, con patas, alas y antenas que producen huecos en la superficie, y sin embargo no se mojará, porque existe una "piel" invisible entre el insecto y el agua que está debajo. Esa misma piel hace posible que el insecto patine y corra sobre la superficie del agua. Por ese mismo mecanismo, las gotas de rocío se mantienen sobre las hojas de hierba y las gotas de lluvia sobre la chapa de un automóvil recién lustrado. El extremo exterior de todo líquido se encuentra en un estado constante de transferencia de energía. Las moléculas

de la superficie quedan atraídas por las inferiores y contiguas, y así intentan continuamente trasladarse de la parte exterior a la interior.

La superficie aparentemente plácida de una burbuja de jabón está de hecho en una actividad frenética, dado que las moléculas se agitan enloquecidamente entre las tres capas que integran el grosor de la burbuja: la superficie interior, el centro y la superficie exterior. Las dos superficies están en tensión superficial. El movimiento de la exterior provoca un encogimiento continuo de la superficie, y de hecho estira a la piel en derredor del líquido. Si este líquido es una gota de lluvia, la tensión superficial intenta convertir a esa gota en tan esférica como sea posible, a medida que la parte externa se comprime.

En un gran volumen de agua, la tensión superficial ejerce un efecto insignificante, porque la gravedad supera a esa acción molecular. Cuando disminuye el volumen del líquido, aumenta proporcionalmente la fuerza de la tensión superficial. Aunque las cosas pequeñas puedan ser sostenidas por la tensión superficial sobre una gran masa de agua, las de mayor masa no son contenidas por ella. Las pequeñas gotas de lluvia son más esféricas que las grandes, y las gotas de rocío son todavía más redondas. La fuerza de la tensión superficial aumenta de modo considerable en los tamaños diminutos y se constituye en igual a la de muchas atmósferas de presión, cuando los tamaños son poco mayores que las moléculas mismas.

Hay una relación inmediata y directa entre esta acción molecular y la forma orgánica. La materia orgánica se compone de agua en un porcentaje muy alto de su volumen. Cuando se forman las paredes de las células, su estado es líquido y viscoso. La célula orgánica es pequeña y la pared de la célula es todavía más pequeña. Debido a esos tamaños diminutos, la formación de células queda sumamente influida por la tensión superficial. Ésta tendría un efecto sólo insignificante sobre una forma grande, como la de un ser humano o una vaca, pero tiene un efecto poderoso sobre sus células, lo que a su vez influye en la forma de todo el organismo, y así las formas de animales y de plantas quedan controladas por la tensión superficial existente entre sus células.

El tipo de control ejercido por la tensión superficial sobre la formación de células es el siguiente. Si se observa al agua dentro de un recipiente de vidrio, se advertirá que el perímetro de la superficie se eleva en los bordes, al entrar en contacto con el vidrio, o que cuando dos burbujas se encuentran, sus puntos de intersección se confunden entre sí. La tensión superficial es una energía que siempre busca una igualación. Intenta juntar entre sí las formas y distribuir la energía tan parejamente como sea posible: nunca se encuentra un ángulo agudo en la formación de líquidos. Cuando las células se forman, estas quedan combinadas entre sí; cada intersección queda redondeada en sus esquinas, cuando las fuerzas de tensión superficial en cada pared se equilibran entre sí, con lo que afectan a la forma de esa pared, y a su vez afectan a la célula y al tejido orgánico. Otras derivaciones de la tensión superficial serán examinadas en el capítulo séptimo, titulado "Teleología".

En contraste con ello, las formas del crecimiento mineral son angulares, con caras lisas y bordes marcados. El crecimiento del mineral se hace por el lado exterior. Como un operario de mampostería, que coloca un ladrillo sobre otro, la pared mineral es levantada en capas chatas y esquinas marcadas. Toda la actividad es exterior, y nada ocurre en el interior después que la sustancia ha sido colocada en su sitio. Este tipo de crecimiento angular puede ser advertido en los cristales más pequeños, con pocos milímetros de lado, y en los escarpados picos de granito en una gran montaña. Sin embargo, la forma angular sólo caracteriza al proceso inicial de construcción. Pueden encontrarse piedras que sean tan pulidas y redondeadas como patatas. Pero tales formas redondeadas surgen del desgaste y de la acción atmosférica, del cambio y del retiro en la forma mineral. Las piedras semejantes a patatas pueden ser rotas y revelarán en su interior la estructura angular.

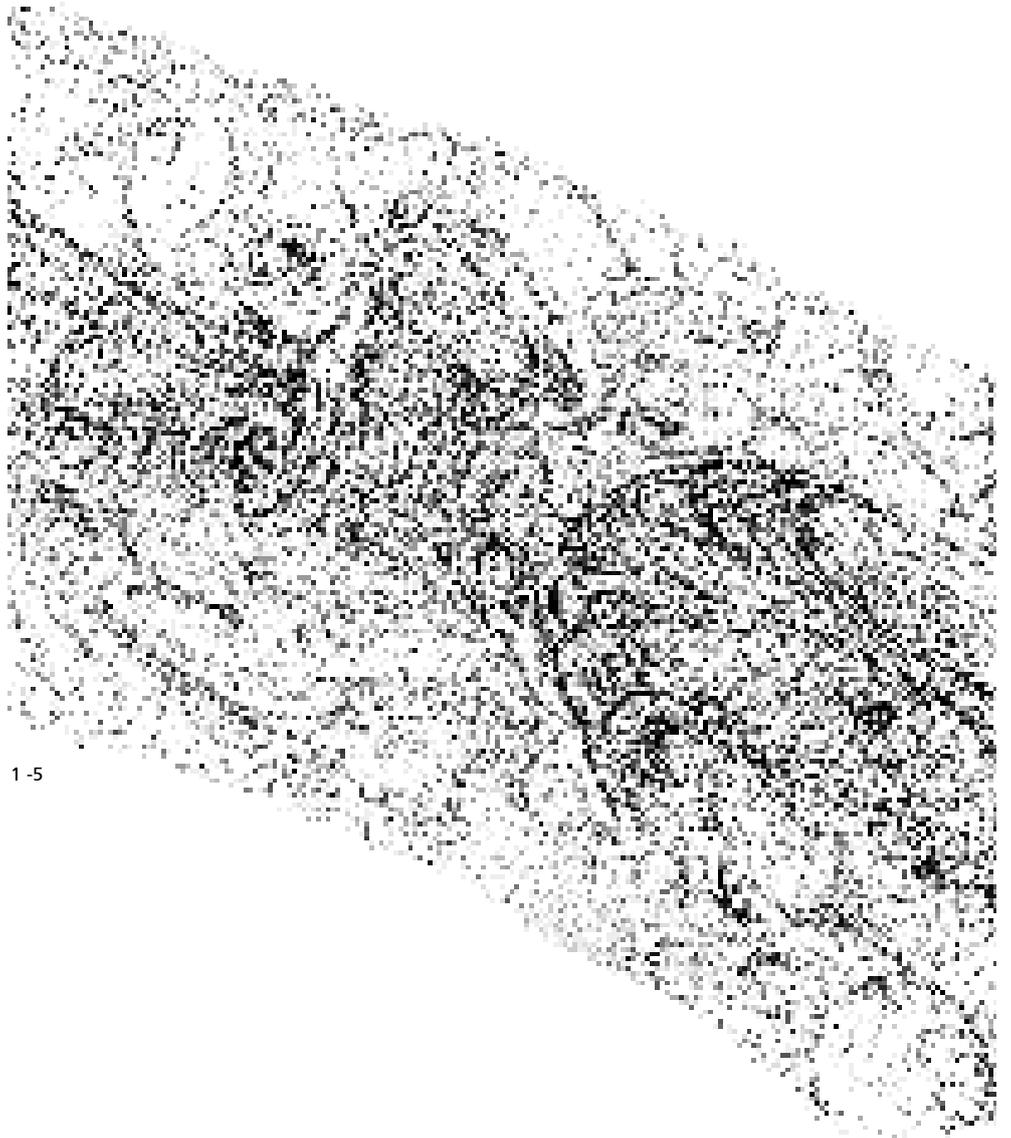
Tal como la tensión superficial colabora en la forma de la célula orgánica, e influye así sobre la configuración de plantas y animales, la cristalización influye de manera similar sobre las formaciones minerales.

Si un puñado de sal es examinado bajo un vidrio de aumento, aparecen separados los granos

individuales. Cada uno de ellos es un cristal: traslúcido, aproximadamente cúbico, variables entre sí en tamaño y en regularidad. Los cristales parecen ligeramente golpeados, debido a que han sido sacudidos, y muestran rayas opacas y blancas en sus bordes y sus esquinas. Se asemejan a minúsculos cubos de hielo. Si cae sobre ellos una partícula de agua, se aclaran de forma instantánea, ya que las irregularidades se disuelven y dejan sólo una superficie suave, de la misma manera que los cubos de hielo se hacen diáfanos al ser sumergidos. Los bordes y rincones duros desaparecen cuando la sal entra en solución. El cubo geométrico se convierte rápidamente en cubo redondeado y luego en una forma amorfa. A medida que disminuye en tamaño, el cristal se hace cada vez más esférico. El resto final del cristal salino es una partícula casi perfectamente redonda, que va desapareciendo.

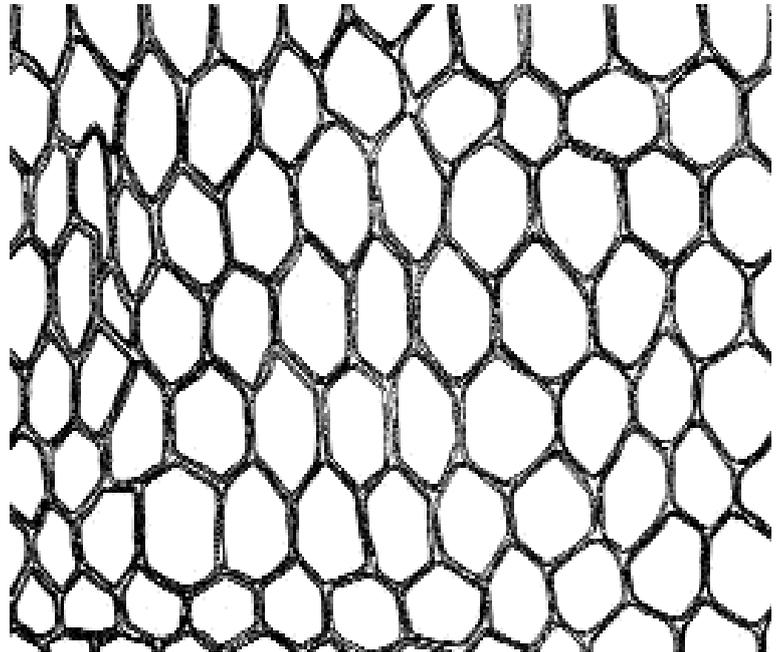
La pequeña solución acuosa de sal, colocada bajo el calor de la luz del microscopio, comienza pronto a calentarse y evaporarse. La sal no puede evaporarse como el agua, y cuando ésta se hace más escasa, queda también sobresaturada; la sal emerge nuevamente de la solución y

1-5 Si se pudiera hacer una sección transversal en la pared de una burbuja de agua y jabón, se asemejaría a este dibujo. Debido a una situación muy inestable, la membrana se halla en actividad frenética, mientras se aproxima a una igualación. Los elementos más densos se agitan en el centro de la membrana, se cruzan las distintas corrientes producidas por las diferencias de calor, el agua que contiene menor cantidad de jabón se expande, y el aire se traslada hacia el exterior de la burbuja, empujando por delante a otras partículas. El centro de la membrana es más denso que el resto y se mueve así como si fuera una capa diferente. La tensión superficial mantiene intacto a todo el sistema; las moléculas del interior atraen a las moléculas de superficie y las llevan hacia dentro. Este movimiento constante de las moléculas de superficie hacia el interior provoca un encogimiento, hace más delgada la membrana de la burbuja y provoca una tensión superficial. Esta actividad continúa hasta que una de las porciones se hace demasiado delgada, con lo que la burbuja estalla.



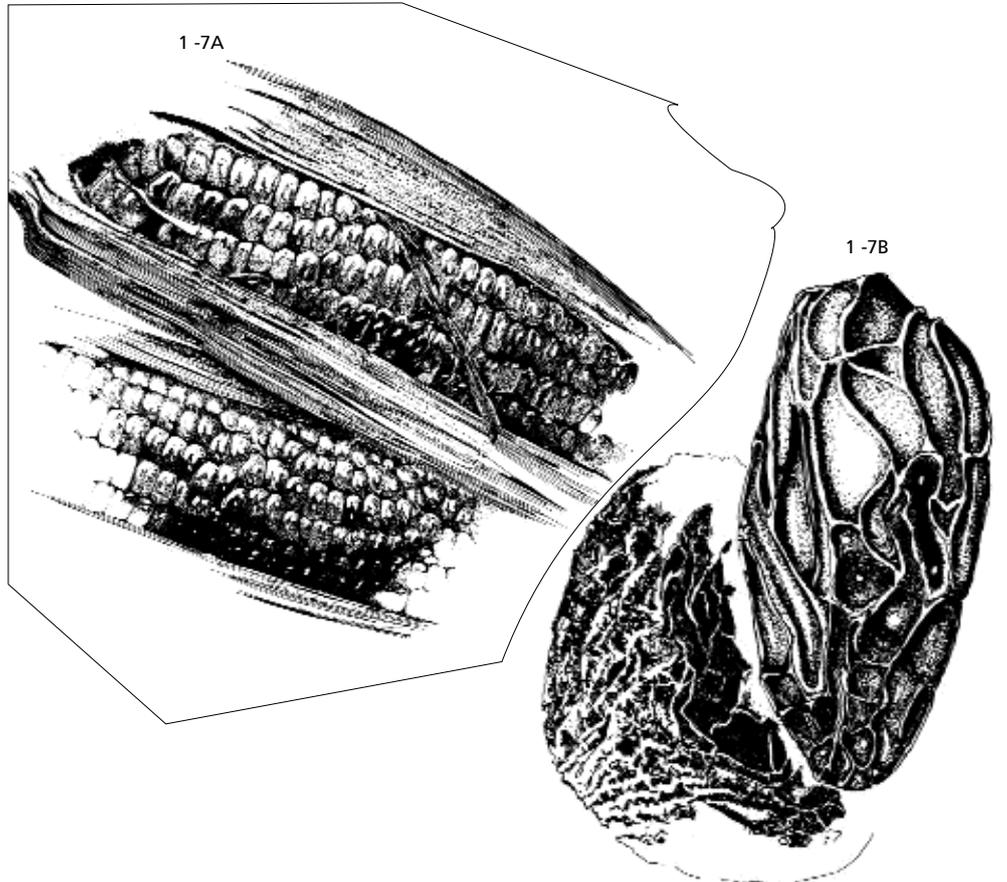
1 -5

1-6 Este dibujo representa a una situación bastante típica en la estructura de paredes de células. Tales paredes se forman de acuerdo a un conjunto muy estricto de condiciones físicas. La tensión superficial es uno de los fenómenos relevantes, la materia orgánica está habitualmente en estado líquido durante el proceso de formación. La energía de una superficie intenta transferirse a la contigua y así se llega a una igualación. El resultado es la tendencia a que la pared celular forme una intersección equiangular de tres elementos, lo que lleva a su vez a la figura de seis lados y a toda una pauta hexagonal. En las células más especializadas, como las nerviosas o las musculares, la función domina a la forma (véase el capítulo séptimo para una explicación más amplia).



1 -6

1-7 A y B La mazorca de maíz fresco ejemplifica la expansión de una piel tirante, en la forma orgánica en crecimiento, empujando hacia la cobertura exterior, mientras el crecimiento y los líquidos se acumulan en el interior. Al llegar la madurez se detiene el crecimiento y las formas pronto comienzan a aflojarse cuando los líquidos vitales retroceden, o se deshidratan, o atraviesan la piel y fluyen. Queda entonces el material sólido, mientras los líquidos restantes permanecen en forma de espeso jarabe. La membrana tirante, que antes era la cubierta exterior, se encoge y arruga, mostrando las formas características del envejecimiento orgánico, que se pueden ver, típicamente, en los melocotones y ciruelas cuando la fruta es desecada.



1 -7A

1 -7B

comienzan a formarse otra vez los cristales. A partir de impurezas diminutas, los cristales crecen en cuatro direcciones, formando pirámides de cuatro lados, construidas con una capa sobre otra, apoyadas en las bases; cada capa es un cuadrado perfecto, ligeramente inferior en tamaño a la que le ha precedido. Los nuevos cristales son totalmente cuadrados en sus ángulos y son lisos en sus caras, porque sólo expresan la formación mineral; no han sido sometidos todavía al desgaste que suaviza su forma. (4)

La piedra de granito está formada por cristales individuales, similares a los cristales de la sal y unidos entre sí. El hierro, cuando se enfría y pasa de un estado líquido a un estado sólido, queda formado en cristales, pero éstos quedan combinados entre sí, en un esquema que se denomina retícula. Existe muy poco espacio entre un cristal y otro, ya que igual que en un panel, los costados de una celdilla se aprietan contra los costados de la contigua. Los cristales de granito, aunque muy fuertes en su interior, operan con independencia en su proceso de formación y así se reúnen dejando baches y agujeros, como en un mal trabajo de embalaje. La forma y el ajuste entre las partes constitutivas de un material determinado ayudan a fijar las características de éste: aquellos que posean un ajuste relativamente más firme serán las sustancias más fuertes y los de embalaje flojo serán más débiles. Cuando se produce una fractura en una sustancia cristalina, la línea de división tiende a seguir una senda angulosa entre los cristales. En todos los casos la separación seguirá el curso de la menor resistencia: el curso de lo que está más dispuesto a quedar separado. La forma resultante es así lisa y angulosa.

Después que las formas orgánicas y minerales han quedado establecidas, comienza su declinación, con la muerte, la deshidratación, la putrefacción y el filtro que producen el sol y el viento. Vemos la transformación de algo en sus etapas de surgimiento, expansión y crecimiento, hasta llegar a una situación estática, para finalmente ceder el material ganado y desarrollado. Estas fuerzas de la declinación ejercen tanta influencia sobre la forma como las fuerzas del crecimiento. Desde el momento en que se inicia el proceso de crecimiento, y antes de que termine, comienza también el deterioro, porque se produce un envejecimiento y una declinación incluso en la juventud. Los vientos elevan granos de arena, quitan partículas a la piedra, marcan la madera, resecan las resinas y los aceites, dejando agostada y agrietada a la sustancia orgánica, o marcada y redondeada a la inorgánica. Con un empuje suave e insistente, los océanos y los ríos desgastan al granito y oxidan al hierro. Las lluvias disuelven y cortan con igual eficiencia en los costados de la montaña o en las hojas del dm. El sol, los insectos, otros animales, el fuego, la putrefacción y el hielo trabajan para disminuir aquello que han reunido la química, el calor, la presión, el tiempo y la vida. Las cosas frágiles deben ser sostenidas, o de lo contrario quedarán libradas a sus cortas vidas; las cosas más grandes durarán más pero revelarán superficies y formas que señalan su lenta muerte. Estas formas de disminución pueden ser separadas en categorías con tanta nitidez como las formas del crecimiento.

La deshidratación de una forma orgánica, en toda su masa, se produce según pautas conocidas. La piel ha quedado estirada, cubriendo las cosas en nuevo crecimiento, cuando éstas rellenan al máximo sus recipientes, pero esa suave superficie orgánica y convexa exige la imposibilidad de una expansión continua para configurar su forma simple. Desaparece la apetencia por el crecimiento y, al igual que un balón con una ligera pérdida de aire, la piel se retrae cuando no presiona ya el empuje de un mayor crecimiento.

Las habichuelas secas y la carne desarrollan la compleja textura de algo que ha empujado su parte exterior hasta los límites, pero que ahora se contrae desde dentro, dejando marcada con arrugas la superficie antes estirada. La superficie se expande con el crecimiento, pero se contrae en pliegues, y no en una disminución de su área, cuando el interior se hace más pequeño. La superficie queda floja y ya no está asociada a la masa que contiene. En una ciruela, la piel leve y delicada muestra, cuando está fresca, un notable lustre en su estirada membrana exterior. Al producirse la deshidratación, esa piel muestra ligeras arrugas y comienza a flotar en la parte exterior de la ciruela. Al continuar el secado, la piel se afloja más y se retrae sobre sí misma, hasta adquirir finalmente las formas gruesas, duras y complejas de la pasa en que se convierte la ciruela. Este proceso es similar en todas las frutas y verduras desecadas, en el envejecimiento

y la muerte del animal, y hasta en la película que se forma sobre la superficie de un charco que se reduce. Es el proceso de la deshidratación desde el interior; la humedad pasa de la masa interior al espacio exterior a través de la piel.

Si por un lado la forma orgánica crece desde el interior, empujando delante suyo a la piel, y se retira también desde el interior, la forma inorgánica ofrece un completo contraste, porque crece desde fuera y disminuye también desde fuera. Las formas resultantes son muy diferentes. Casi todos los agentes de la erosión (el viento, el agua, la nieve y el hielo) son habitualmente menos duros que las sustancias sobre las que operan, como la piedra, el acero y la tierra.

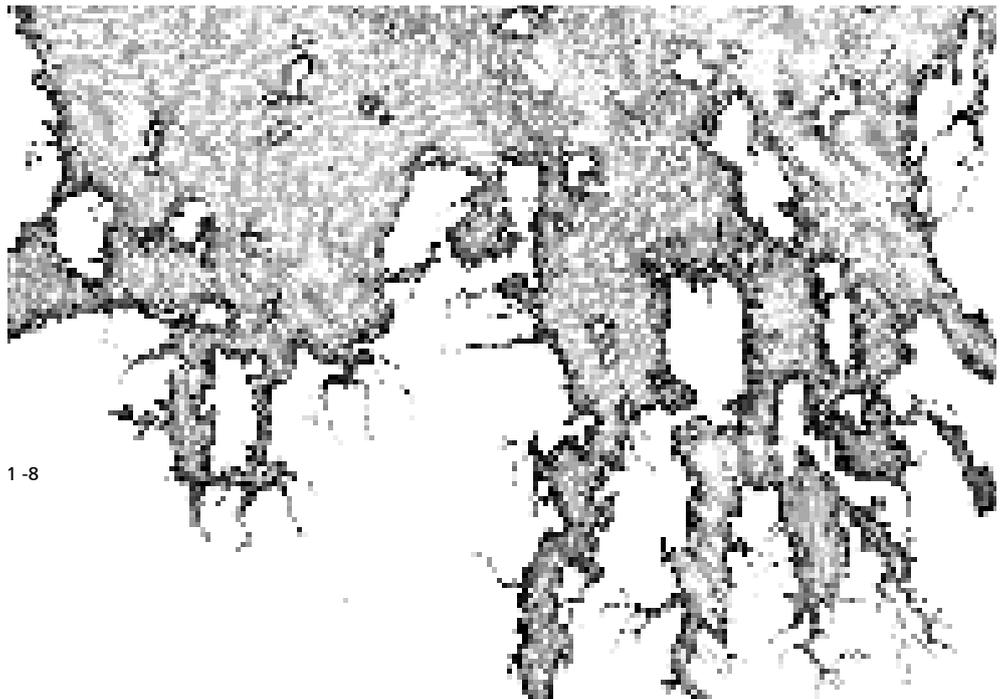
La remoción de material sólo se hace efectiva, a menudo, con una porción cada vez, porque tales agentes sólo pueden sustraer las más pequeñas partículas. En el Vaticano, en Roma, se yergue una estatua de San Pedro en bronce. Los fieles han besado a la figura de San Pedro durante siete siglos. El pie derecho de la estatua ha llegado a tener un hueco suave y profundo, sólo con el roce de labios y de manos. Cada persona, en una larga procesión de creyentes, ha llevado consigo desde la estatua algunas mínimas partículas de metal, adheridas a su boca reverente o a sus dedos. Y eso es lo que también ocurre cuando los vientos y el agua se baten contra los acantilados de dura piedra, llevando consigo sólo aquellas pequeñas partículas que pueden transportar.

Ese minucioso proceso de remoción produce una superficie muy suave cuando el material expuesto es homogéneo en todo su conjunto, como es el caso antes citado de los cristales de sal en el agua. El mismo proceso se mantiene en una escala mayor: en las rocas suavizadas por el golpeteo de las olas, o en la modelación de viejas montañas por el viento y el agua. Una costa uniforme de arena, enfrentada al viento, formará en línea recta sus orillas ante la erosión. Una capa de hielo que se derrite sobre un charco liberará su agua sobre una superficie suave y continua.

Si es irregular la superficie del material sometido a la erosión, la forma resultante será despareja. Una costa sometida gradualmente a la erosión y compuesta de granito y de arcilla blanda, produce un complejo de orillas y de bahías, de penínsulas y de islas. Las penínsulas y las islas corresponden a los materiales más duros, mientras las bahías y las caletas se forman por las

1-8 Un mapa de la costa nordeste de Estados Unidos de América muestra los efectos de una consistencia heterogénea en la tierra, así como el efecto de erosión que provoca el mar. La masa de tierra en la superficie está integrada por diversas arcillas, arenas, guijarros, granito descompuesto, materiales orgánicos, mientras el material consistente es la piedra sólida.

En esta zona particular, la fuerza prevaleciente para las tormentas es la que procede del sudeste. Las bahías de la parte trasera quedan casi enteramente cubiertas por materiales blancos, carecen de granito y están en una situación de erosión moderadamente rápida. Las tierras delanteras y las islas salientes son sólidas monolitos de granito, recubiertos sólo por una delgada capa adherida a los costados. La configuración general de esta costa es la típica de una erosión en un material heterogéneo frente a una fuerza constante, con independencia de su tamaño y extensión. Una aleación heterogénea de metales, frente a la corrosión o a la oxidación, presentará un tipo similar de superficie, si se examina ésta bajo una lente de aumento.



sustancias de más fácil remoción. Un banco de ripio, ante la erosión de la lluvia, presenta una superficie cincelada de crestas, espiras y profundos huecos. Algunas rocas compuestas quedan marcadas con pozos curvados y nudos, ya que los elementos blandos y duros ceden a velocidades distintas. Las rocas cristalinas de granito se hacen muy ásperas ante la erosión del viento, dado que cede primeramente el material de unión entre los cristales, dejando a éstos en relieves desperejados. Después de la muerte, los materiales orgánicos más duraderos son a menudo sometidos al mismo proceso de erosión: la madera y el hueso sometidos a la intemperie, a lo largo de años, revelan con rizos y vueltas sus vetas duras y blandas.

El desgaste es una consecuencia de la fricción entre una sustancia y otra. Cada sustancia que esté en contacto y en movimiento libera cierta cantidad de su volumen ante la acción y desgaste de la otra. Si el viento se mueve contra la piedra, queda detenido ante una capa de aire que posee la exacta configuración de la piedra y que queda libre del resto del viento. Pero al detenerse el movimiento del viento, quedan libres las minúsculas partículas que forman la superficie de esa piedra, contra la que choca el aire.

En este sentido, todo desgaste es una transacción; ambas sustancias transan en el punto de contacto. Las variables que controlan la rapidez de la erosión o el desgaste son las cantidades proporcionales de materiales que se enfrentan, así como sus velocidades, presiones y durezas. Las brisas suaves pueden reducir a masas de roca cristalina sólo mediante grandes períodos temporales y grandes cantidades de aire. El agua exige menos tiempo para limar la piedra, y asimismo el roce de una piedra contra otra, debido a los movimientos terrestres, quita material a ambas.

La dirección del movimiento de contacto es otro factor importante para determinar estas formas del desgaste. Una acción de barrido, en la que dos sustancias se frotan entre sí en dirección paralela a sus superficies, tiende a que éstas se suavicen. Las manos que se deslizan sobre una baranda de madera, los esquíes que patinan sobre la nieve reciente, la cadena de ancla que sube y baja sobre el tojino en una embarcación, restan cantidades microscópicas de material en los puntos más elevados y los depositan en las grietas, o quizás arrastran todo el material, con lo que dan un solo nivel a toda la superficie. El resultado final es el pulido.

Cuando la acción de desgaste se produce en las cosas hechas por el hombre, se trata habitualmente de materiales que se deslizan: la media que se desgasta en el talón, entre el pie y el zapato; las suelas del zapato que se deslizan junto al suelo; los cojinetes con partes rotatorias dentro de una máquina; la superficie de una mesa bien lustrada. (5)

El desgaste es inevitable en el movimiento entre superficies que se tocan. La elección a hacer es la de la superficie que debe perder su material en grado mayor. Para ello es esencial considerar la compatibilidad entre dos materiales disímiles. Los cojinetes de una máquina podrán ser deliberadamente fabricados con plomo blando o con una aleación de bronce, a fin de ayudar a la lubricación y quedar luego desgastados, porque es más fácil reemplazar los cojinetes que el eje junto al que giran. La máquina ideal prescindiría de la fricción y por tanto de todo desgaste. El objetivo es contener a la parte móvil, de tal forma que su recorrido sea uniforme, pero impidiéndole tocar cualquier otra superficie. (6)

Una hoja de vidrio entre nuestros dedos puede parecer muy pareja y resbaladiza, pero tal suavidad es relativa. Una mosca puede ascender por una ventana de vidrio, apoyando sus patas en una superficie mínimamente rugosa. Todo material examinado debidamente en el microscopio demuestra una superficie tosca y rugosa. Es esa tosquedad la que acelera el desgaste.

Cuando dos superficies entran en contacto, las irregularidades de una se enlazan con las de la otra, como dedos que se aprietan entre sí; cuanto mayor sea la presión que las empuja, mayores serán las zonas de contacto, ya que las "salientes", de una se introducirán más en las "entrantes" de la otra. Por este motivo la presión es un factor de extrema importancia en el desgaste.

Cuando dos superficies firmemente pegadas entre sí se mueven en sentidos opuestos, o frotan, la rebaba de cada una queda removida y deja expuesta a su vez a otra, con lo que el proceso

se repite. Las superficies más suaves penetran recíprocamente en menor grado. En teoría, dos superficies infinitamente suaves, que entren en contacto entre sí, no sufrirán desgaste alguno, porque no se interpenetrarán, sino que quedarán separadas, paralelas y sin fricción. (7)

En la práctica, una superficie muy tosca se desgastará más velozmente que otra pulida. Un neumático de automóvil, llevado a una detención súbita por el freno, conseguirá detenerse antes sobre una carretera de macadam rugoso que sobre un asfalto liso, dado que habrá una mayor fricción, pero también se desgastará más rápido, ya que un pavimento rugoso quitará más caucho al neumático. La lluvia caída sobre una carretera de cemento llena los huecos y alisa la superficie; de hecho, el agua transforma a una superficie tosca en otra lustrada. Un neumático que se desplaza rápidamente sobre un pavimento húmedo se aparta del asfalto y sólo hace contacto con el agua y con los puntos más elevados de ese asfalto. La compenetración entre goma y agua produce poca fricción, porque el agua queda fácilmente apartada, lo cual es una condición muy indeseable para la seguridad del conductor. Sin embargo, si la única preocupación fuera la del desgaste en el neumático, el agua sería beneficiosa, porque al agregarse una tercera sustancia entre neumático y carretera, se habrían conseguido las ventajas de la lubricación, que es lo que mejor impide que se produzcan la fricción y el desgaste.

Los lubricantes penetran en los huecos de las superficies mínimamente toscas y forman un cojín entre un material y otro. Tal cojín no sólo hace muy suaves a las superficies en contacto, nivelando salientes y entrantes, sino que reduce el movimiento de ambos lados. (8)

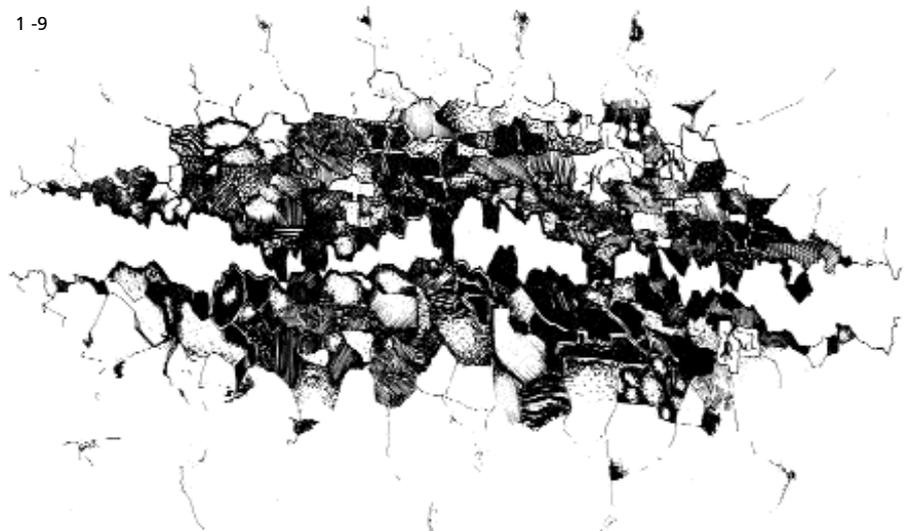
La mayor parte del desgaste vinculado a las acciones humanas y a sus dispositivos procede de ese movimiento paralelo de superficies. Pero existen otros dos tipos menos comunes de desgaste y de erosión, que se encuentran en la Naturaleza y en la obra del hombre. El primer tipo es el realizado en dirección perpendicular a la superficie; el segundo es multidireccional. Un martillo que golpea contra el yunque de acero, la lluvia que cae recta sobre la roca cuando no hay viento, una tormenta de viento que lance granos de arena contra el parabrisas de un automóvil, son ejemplos de una situación de desgaste perpendicular. A diferencia del movimiento en paralelo, este tipo de acción surca y marca la superficie. El metal se separa en estrías al ser golpeado; la lluvia puede, con el paso del tiempo, dejar marcas como cicatrices en la piedra, produciendo leves pozos; una ráfaga de arena puede producir surcos con mucha rapidez en cualquier superficie dura. Un resultado muy similar puede obtenerse mediante agua y productos químicos que se disuelvan perpendicularmente sobre superficies minerales, dejando esculpido

1-9 Perspectiva, sumamente aumentada, de la intersección entre dos piezas de acero, cuando son comprimidas entre sí, y carentes de toda lubricación.

Los bloques de forma irregular son moléculas. El acero es una sustancia sumamente heterogéneo, con zonas duras y blandas, gránulos, impurezas, una matriz de grafitos, ferritos y carbón, y varias otras partículas, según su combinación y pureza. La composición mixta tiene como consecuencia la amplia gama de propiedades del hierro y del acero. En el dibujo, la superficie de dos partes en contacto deberá pulirse para su empleo en la máquina. La zona neta de contacto entre ambas piezas es muy pequeña, con lo cual cada protuberancia debe soportar una fuerza enorme, incluso si la carga es moderada.

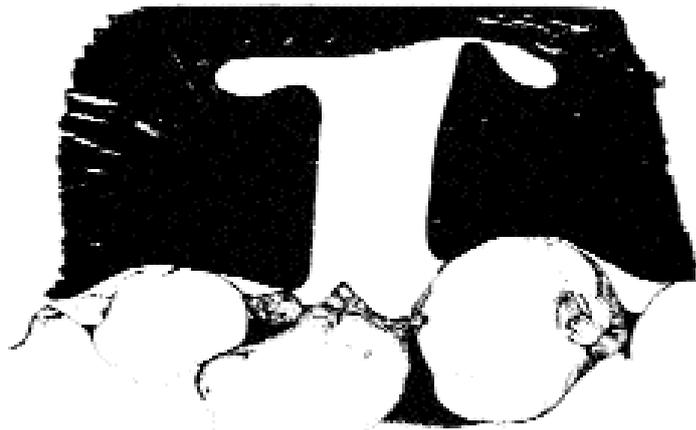
A menudo tales pequeños puntos de contacto se funden, entre sí, ante la presión y el calor que provoca la fricción. Si ambas superficies fueran movidas en direcciones opuestas, se produciría una enorme acción de desgaste, quitando de su sitio a moléculas y gránulos, deslizándolos entre las superficies móviles y causando así un desgaste todavía mayor. La fricción aumenta la temperatura, lo cual se suma al deterioro sobre la superficie. Esas son las condiciones de un desgaste entre dos superficies cuando no hay lubricación.

1 -9

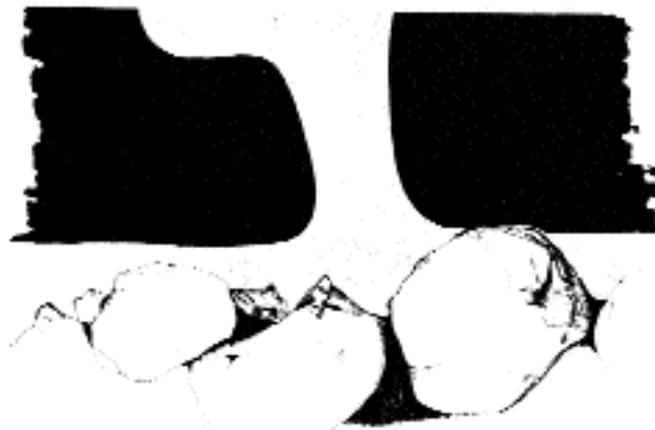


ciertos puntos toscos, pero también los insectos y el fuego consiguen el mismo resultado, al remover material de manera despareja cuando entran directamente en la sustancia. El desgaste perpendicular puede advertirse también en algunos ejemplos de mayor escala. Los agentes de la erosión no son siempre uniformes en la dirección de su movimiento sobre los materiales. A menudo proceden de cualquier dirección, como en el desgaste multidireccional. Una saliente de piedra, en una costa expuesta, verá condicionada su forma mineral a la acción de las olas y adoptar así suaves formas escultóricas, sean cóncavas o convexas, según el batido multidireccional de las olas. Los pies que se encaminan en un sentido u otro, deslizándose, rayando o golpeando contra un bordillo muy frecuentado en una acera, o las manos que se apoyan en molinetes, mostradores, bandas o pestillos de sitios públicos, expresan también la acción azarosa de un desgaste multidireccional. Las máquinas rara vez muestran ese desgaste, porque muy poco queda librado al azar en el movimiento mecánico.

1 -10A



1 -10B



1-10 A y B Si pudiera examinarse de cerca el contacto entre la superficie del neumático y la carretera de cemento suave y seco, el resultado sería similar al del primer dibujo, donde se aprecia un contacto bastante marcado con los puntos altos de la carretera. Si se produce en seco, el relieve de rodadura del neumático se deformará para adaptarse mejor a la configuración del suelo de la carretera. El segundo dibujo muestra la misma situación, pero en medio húmedo y a alta velocidad. De hecho, la superficie del neumático se apoya en el agua y sólo en los puntos elevados de la carretera.

Tal acción es conocida como hidroneumático. En tal situación, los relieves del neumático actúan como escapes para el agua, a la que retiran de la superficie. El agua ejerce así la misma acción del lubricante.

1 -1 1 A y B El propósito de la lubricación es reducir el contacto entre superficies de partes móviles, interviniendo una capa para que no sea fácilmente penetrable, con escasa fuerza de cizallamiento y viscosa en diversos grados.[...] El fallo en los lubricantes es motivado por la fuerza de dos superficies que se juntan. Tal fuerza es variable de un punto al otro. La temperatura muy alta y la velocidad de deslizamiento provocan también la rotura de la capa intermedia. Hay tres tipos comunes de lubricación: la lintera, la película delgada y la hidro-dinámica.

La ilustración muestra a dos de ellas: lintera e hidrodinámica, mientras la película delgada es una combinación de ambas. La lubricación lintera (dibujo A) depende de cantidades minúsculas de lubricante, que recubren las partes móviles; se utiliza para maquinarias de movimiento rápido, como los motores de automóvil. Se trata habitualmente de un aceite liviano. La hidrodinámica (dibujo B) forma un volumen de fluido que separa físicamente a las partes móviles bajo presión. La lubricación hidrodinámica es utilizada en partes de movimiento más lento, como el volante y la suspensión de un automóvil, o como la maquinaria rural. El lubricante a utilizar es una grasa espesa, que permanecerá en su sitio. Ambos tipos de lubricante hacen más fácil el

movimiento, nivelando las imperfecciones y consiguiendo una superficie más suave. Si dos superficies microscópicamente perfectas se pusieran en contacto entre sí, no sería necesaria la lubricación, dado que ambas se deslizarían sin fricción y con suavidad. Los lubricantes secos, como el grafito y el talco, son esencialmente iguales a los de la lubricación lintera.

Las moléculas de tales lubricantes poseen un grano muy fino. Se esparcen entre las dos partes móviles y ayudan a impedir las microfusiones al recubrir a ambas. Algunos tipos de metal, como el hierro gris, contienen el suficiente grafito para proporcionar al metal una resistencia inherente al desgaste.

Todos los materiales poseen sus características idiomáticas. El idioma de ese material es una exigencia formulada a su usuario, para que comprenda su identidad personal y su significado, sus fuerzas y sus debilidades, su estructura, sus formas más cómodas, su mejor uso.

Un operario que posea una vinculación prolongada y estrecha con un material podrá a menudo comprender el idioma de ese material con más plenitud que el físico, el químico o el ingeniero de materiales. Los especialistas pueden ser versados en propiedades y en composición, pero no estar capacitados de sentir en la mano cuál es la cantidad exacta de torsión que necesita un tornillo de acero, de un cuarto de pulgada, para que quede ajustado sin pasarse de rosca. Un material puede ser catalogado y definido, sus propiedades pueden ser analizadas y su estructura puede ser reconocida, pero tales determinaciones no reemplazan al conocimiento empírico de una mano experimentada que haya trabajado durante años en una relación directa con ese material. La mente y la mano saben exactamente cuándo y cómo utilizar mejor un fragmento de madera o de hierro. La resistencia, el peso y la estructura se determinan así con precisión empírica, aunque el operario no sea capaz de verbalizar en términos técnicos lo que ha construido.

Hace ciento cincuenta años, la madera y el hierro forjado echaron las bases de la época industrializada inmediata. Eran entonces el rey y la reina, con cierta cualidad hogareña, porque gobernaban en el dominio del herrero local, del constructor de carretas, del tonelero, del fabricante de embarcaciones, del granjero y de muchos otros que construían y reparaban con implementos de esos materiales; muchos de ellos llegaron a conocerlos bien. En incontables

1 -11A

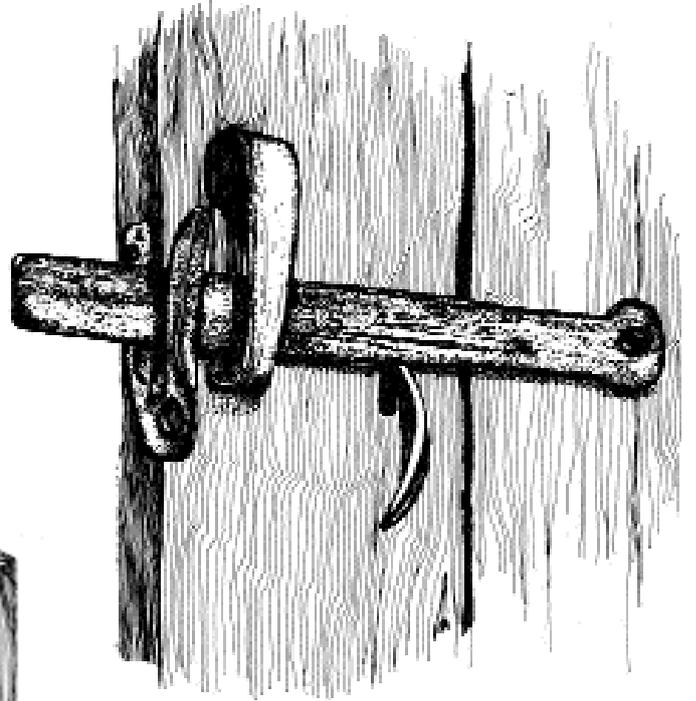


1 -11B



1-12 La fibra es el secreto de la resistencia de muchas cosas. Aquí se presenta un trozo de madera de abeto, con un tamaño aproximado de 25 x 4 x 4 cm, que fue sometido a una fuerza de compresión cecana a las 45 toneladas. Cada columna de fibra vertical funcionó como pequeño pilar, y cada una de ellas reforzaba lateralmente a la contigua. Donde la madera cedió, eso ocurrió en un punto débil y se dispersó rápidamente en sentido horizontal; cada columna de fibra se dobló y quebró en tres puntos, resultando un efecto de pliegue que redujo la longitud total del trozo de madera en 4,7 mm. En toda situación en que los elementos a utilizar posean una estructura fibrosa, o "vetas", la reunión de ellos ganará en resistencia si las fibras quedan alineadas en la dirección de la forma a obtener, o si las fibras reflejan ya esa forma.

1 -12

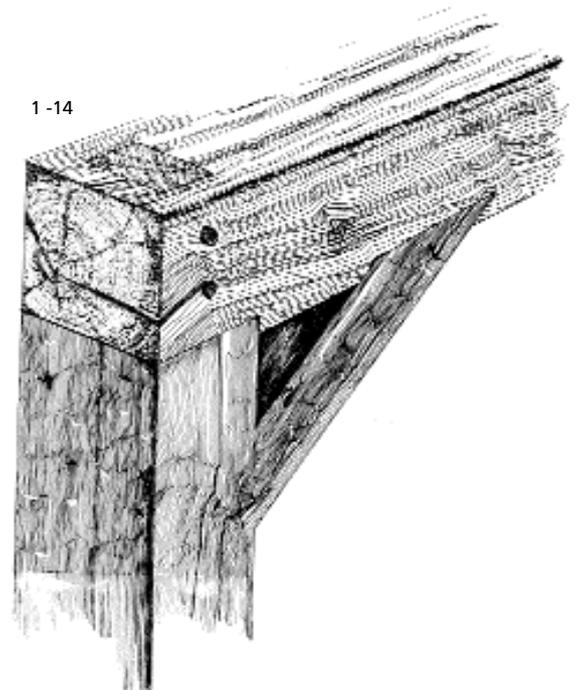


1 -13



1-13 El hierro forjado y la madera fueron los materiales básicos de la producción industrial inicial. Eran materiales fuertes, duraderos, asequibles y fácilmente trabajados. [...] La aldaba del dibujo es una demostración simple y elegante de la artesanía del hierro forjado. El herrero Shaker que la confeccionó, comprendía no sólo su necesidad de función en cuanto producto, sino también la manera en que el hierro funciona, sus resistencias y sus mejores formas.

1 -14

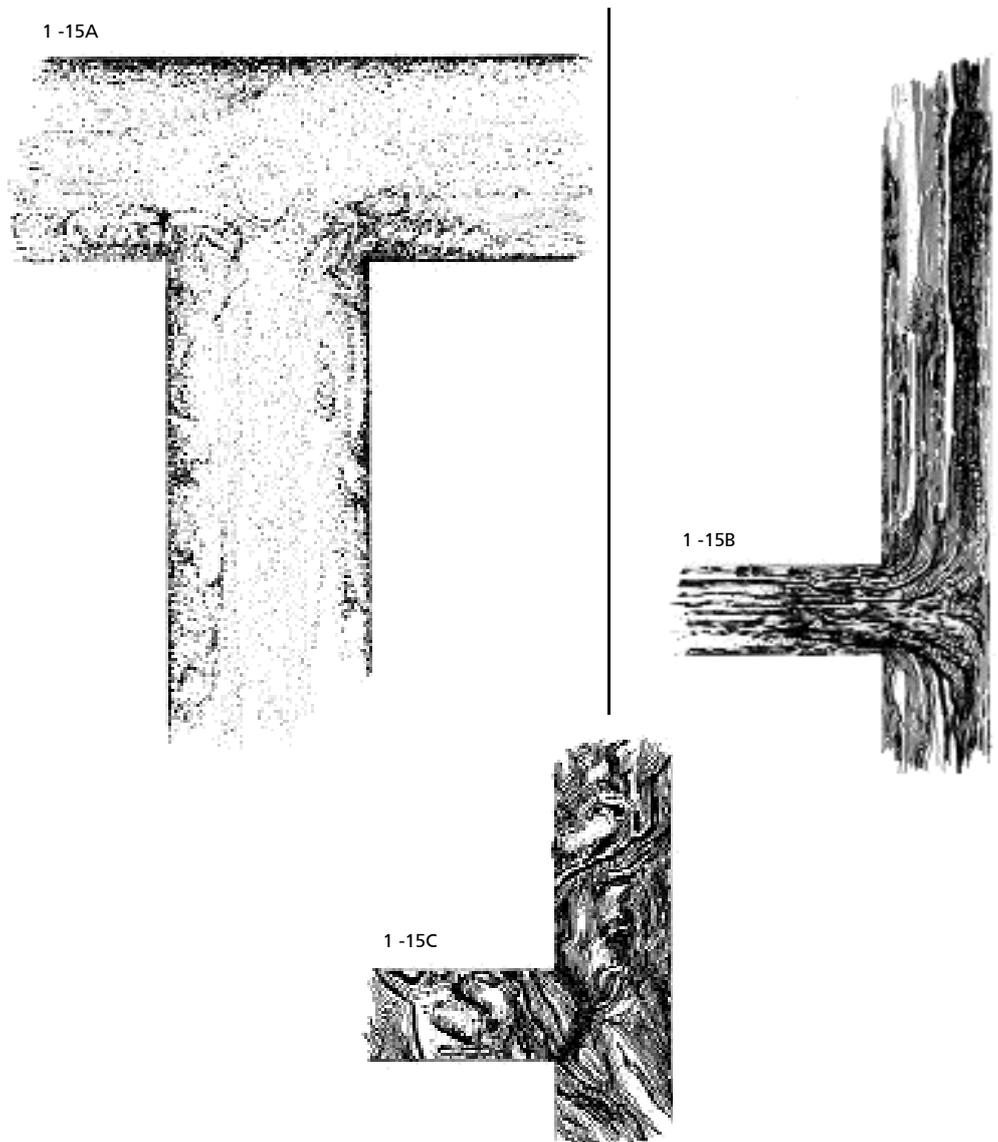


1-14 Los primeros carpinteros cortaban a menudo los árboles dejando ramas insertas en el tronco. Cuando esos maderos eran luego recortados y colocados en una estructura, la rama saliente formaba ya un ángulo de riostra en las intersecciones. Tal ángulo era extremadamente fuerte, ya que la fibra de la madera había derivado naturalmente junto al tronco central. El efecto final es muy similar a la veta fibrosa del hierro que se muestra en la ilustración 1-15c.

bancos de trabajo, bajo el alero vecino al establo, podían encontrarse herramientas de hierro forjado o de madera, para la reparación o la construcción: un gancho de cadena recién forjado, un mango de pala de madera que se quebró en el nudo, una silla de cocina con patas de nogal y asiento de madera de olmo, llevaba al banco de trabajo para reforzarla y ajustarla tras varias temporadas. Una pieza de madera para un arado ha sido llevada a ese banco para la construcción: el tirante central y curvado ha sido cortado de una larga rama de roble, incluyendo otra rama menor que fue cortada intacta para servir como fuerte unión en "Y" entre dos partes estructurales del arado. Estas formas han correspondido a las necesidades más críticas y a las ventajas de los materiales. Ambos, el hierro y la madera, han estado vinculados entre sí de muchas maneras.

Su similitud más significativa es que ambos poseen una veta que surge en su desarrollo y les da firmeza para sus usos por parte de los seres humanos. La veta del hierro forjado se corresponde con una determinada figura forjada y la fibra de la madera con la de su crecimiento dentro de la pauta dendrítica del árbol.

1-15,a,b,y,c Las características estructurales de los materiales determinan su resistencia y en consecuencia su forma. El dibujo a muestra una intersección de hierro fundido, que fue volcado en un molde. Ese hierro derretido ocupa enteramente el molde, se cristaliza y se solidifica. La característica granular del hierro fundido no refuerza estructuralmente a la forma de la pieza final. Puede producirse fácilmente una fractura en este corte comparativamente delgado. El hierro fundido es duro pero frágil, con lo que se presta mejor a aquellas formas de mayor masa. El dibujo b muestra la intersección de dos piezas de acero que se han fundido entre sí. El acero posee una estructura fibrosa que le da una resistencia considerablemente mayor al cizallamiento que la que ofrece la estructura granular del hierro fundido, pero tal "fibra" es azarosa. No se corresponde con la forma de la pieza; la intersección es adecuada pero no una fibra y forma. El dibujo c es una pieza forjada; se la ha dejado fluir, en estado sólido, hasta adquirir su forma. Debido a ese flujo de material sólido, la intersección es mucho más fuerte que la de los casos a y b.



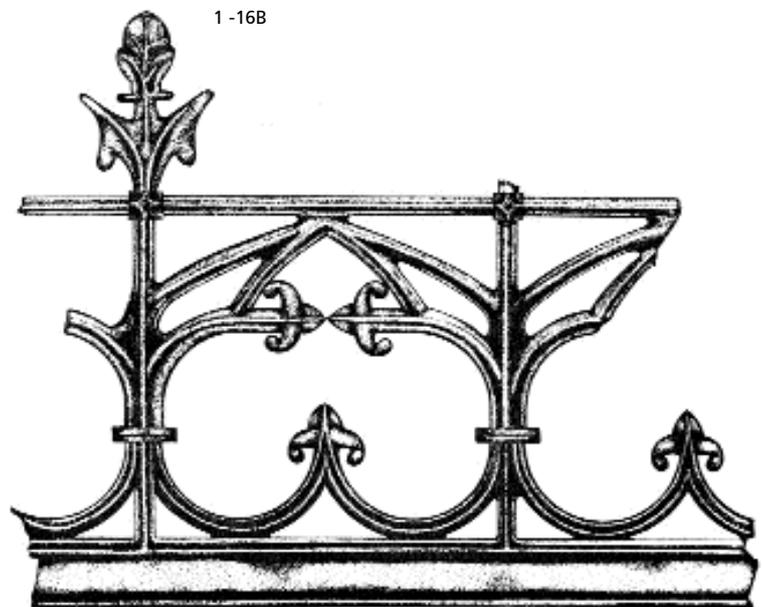
Comprender la estructura de las fibras de un material es un dato esencial para comprender al material mismo. Cuando las sustancias terrestres fluyen de una forma a otra, dejan sendas en su estructura que revelan el curso de su recorrido y el cambio producido en la configuración. Una avalancha de hielo o de tierra puede ser vista desde arriba con líneas de movimiento que corren paralelas en la dirección de su flujo. Estas líneas son causadas por varias sustancias ajenas y por irregularidades que se encuentran en el camino; su efecto se extiende a lo largo de la sustancia en movimiento. La fibra de la madera o del hierro forjado fluye de manera similar dentro de sus formas. Si un árbol grande y maduro es cortado a la mitad, en línea paralela a su largura, desde el extremo de las ramas, en todo el tronco y hasta sus raíces, se vería en silueta el flujo de esa fibra. Ese corte expone el movimiento paralelo, ascendiendo desde las raíces por el tronco y las ramas principales hasta los vástagos. Es esa fibra la que da su resistencia al árbol y a los productos de madera que con él se hagan.

Los artesanos de otras épocas, que trabajaban con la madera, reconocieron esa cualidad estructural y la utilizaron con ventaja, en mayor grado que lo que hacen los operarios de hoy. No sólo sabían cómo dejar la fibra en los segmentos lisos, sino que utilizaban las curvas naturales del árbol para formar las curvas de sus productos. Donde se necesitaban intersecciones, se las formaba a menudo, y toda vez que fuera posible, con las intersecciones naturales de las ramas. El resultado de tal construcción llevaba a que las sendas de esas fibras fluyeran de una a otra donde se unieran las partes, como ocurriría con las corrientes de dos ríos que se encuentran. El hierro moldeado por el martillo del herrero fluye también hasta encontrar su forma, y tiene así una veta interna que se corresponde con su forma exterior, como las distintas capas sucesivas de una cebolla.

1-16, A y B Un herrero ha moldeado ese atizador, partiendo de una barra de hierro sólido, hasta esa agradable forma curvada, en un buen ejemplo de la maleabilidad que ofrece el hierro forjado. Compárese esa forma con la cerca de hierro fundido en la ilustración B. Ambos objetos expresan el idioma del material en que han sido hechos.

El atizador de hierro forjado es una buena forma para su material, mientras la cerca de hierro fundido no es tan apropiada. La que aquí se muestra es parte de una antigua cerca de hierro fundido en un cementerio. Tales cercas fueron, en su origen, copias del arte español o marroquí en hierro forjado.

Aunque este hierro forjado era más fuerte y más resistente a una fractura, pasaba a oxidarse rápidamente en los países húmedos del norte. La cerca de hierro fundido era resistente ante la oxidación, pero muy frágil en los segmentos delgados, con lo que no fue el óxido, sino la rotura lo que canceló la vida de la cerca.



Los materiales modernos están todavía más necesitados de comprensión, porque los errores no se limitan ya a un solo objeto, sino que quedan multiplicados por la producción en masa. Los materiales son a menudo más complejos y los métodos para trabajarlos son masivos y sofisticados. El hierro forjado es ya utilizado rara vez, pero el oficio del herrero ha perdurado mediante una traducción. El hierro se ha convertido en acero, los productos son cuerpos de automóvil y no barras de trineo, los golpes proceden de un martillo pilón, pero el metal todavía fluye; esa capacidad de flujo que tiene el acero es lo que ha hecho posible la Edad del Hierro.

Un martillo pilón de veinte mil toneladas alcanza una velocidad de 135 kilómetros por hora cuando desciende para unir entre sí a dos matrices entre las que se ha colocado una hoja lisa de acero. En esa caída de una fracción de segundo la curva saliente de la matriz golpea al material y la hoja de acero se arruga, deformándose en un hueco, mientras las arrugas se extienden por la superficie. Las ondas se hacen más pequeñas y se multiplican. Las dos matrices tocan los extremos superiores e inferiores de las ondas, los achatan, los empujan y lanzan nuevamente la marea del metal hacia su flujo molecular, redistribuyendo el volumen en un espesor suave y contorneado; el metal frío fluye. Las matrices se separan y una nueva carrocería de automóvil queda pronta para ser pintada. Un lingote de acero al rojo vivo, con un grosor de más de un metro y una longitud cercana a los tres, es llevado hacia adelante y hacia atrás, entre los cilindros de una prensa, hasta que surge convertido en una chapa de tres milímetros de espesor y cientos de metros de longitud.

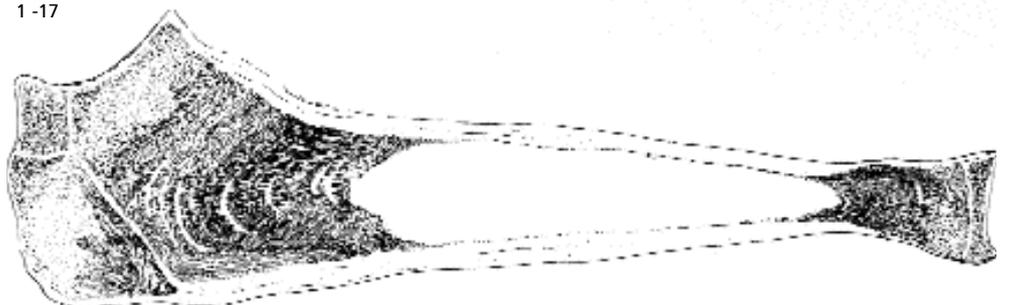
Entre todos los materiales modernos, los plásticos siguen siendo un enigma. Lamentablemente, el rasgo más destacado que los diseñadores y fabricantes han elegido y utilizado con mayor abundancia es la capacidad de los plásticos para imitar a otros materiales tradicionales y más caros.

Los siguientes dos párrafos describen situaciones idénticas. El primero se refiere a la concepción que se ha intentado; el segundo, a la realidad:

El cliente se sienta en el bar para almorzar. El asiento es un taburete forrado de un cuero negro oscuro. Los codos se apoyan sobre un mostrador de madera de cerezo. Sus dedos buscan los cacahuetes depositados en un pequeño recipiente de roble, donde hay una banda circular de bronce, y luego elevan una copa de cristal para probar un sorbo. Detrás del cliente se extiende un parquet de complicados dibujos en madera, que cubre todo el piso hasta las ventanas de vidrios coloreados; por encima, las vigas de roble, terminadas a mano, atraviesan techos blanqueados.

1-17 La estructura animal y su materia son a menudo de composición más refinada que sus similares hechos por el ser humano. La estructura del hueso es una armonía de absorción de fuerzas. Las fibras (trabéculas) que integran las secciones duras del hueso se alinean frente al esfuerzo. La forma de los huesos largos es tubular, forma que ofrece una alta proporción de resistencia con relación al peso. Por debajo de la cubierta ósea dura, la sustancia pasa desde ser dura y rígida en la zona central (o diáfisis), hasta ser muy blanda en los extremos, con lo que aporta la rigidez necesaria en el tramo central y la absorción necesaria de golpe y de esfuerzo en los extremos. Esa graduación aparece en el dibujo de un cubito humano, que es típico de los huesos largos en los esqueletos de los vertebrados. La graduación de lo blando a lo duro se expresa con sus materiales. En el punto de encaje el movimiento queda lubricado por el líquido sinovial, un medio viscoso que al tiempo que lubrica absorbe el choque. El hueco de encaje está marcado por cartílago, que es suave y esponjoso y está saturado por el fluido sinovial. El cartílago calcificado respalda al cartílago hialino. Se trata de un material más duro, endurecido por sales minerales. El hueso subcondral lleva hacia el cuerpo central. El hueso subcondral es blando y esponjoso, pero más duro que el cartílago.

1 -17



Detrás del bar hay un teléfono negro, fabricado de material plástico.

El cliente se sienta en el bar para tomar su almuerzo. Su asiento es un taburete de espuma de estireno y vinílico, imitación cuero. Los codos se apoyan en un mostrador de bar, plastificado con vetas a la manera de la madera de cerezo. Los dedos buscan los cacahuets en un recipiente de polipropileno, terminado en temple picado de alta densidad, con bandas de poliuretano metalizadas al vacío, y elevan una copa de cristal estireno transparente, moldeado por inyección. Detrás del cliente, un suelo vinílico, con vetas de imitación madera, se extiende hasta los paneles de acrílico en ámbar; por encima, vigas de uretano, con una superficie de textura hecha a presión, abarcan todo un techo cuya textura es la de placas-piedra. Detrás del bar hay un teléfono negro, fabricado de material plástico.

Solamente el teléfono es, dentro de tales impresiones, el que se compone de un material auténtico, porque no existe una tradición a la cual copiar y que lleve a su forma contemporánea. En un conjunto de imitaciones y de deshonestidad, se han copiado los terminados y se han ejecutado las formas con una asombrosa fidelidad. Uno debe acercarse y tocar el material para estar seguro de sus sospechas. Las vigas de uretano que se entrelazan en el techo parecen ser la cosa auténtica. Y así nos enfrentamos con una pregunta: ¿importa realmente que las vigas sean o no verdaderas si se consigue el efecto deseado? Parte de la respuesta se relaciona con el desdén manifestado contra la honesta asociación formada por los artesanos que trabajaban con sus materiales, y otra parte alude al potencial no realizado, al idioma que no ha sido explorado.

Los plásticos se han convertido en los grandes imitadores, porque pueden ser simulados como madera o acero, como bronce o cuero. A menudo el plástico obtiene un logro mayor a aquello que imita. Pero el mayor crimen en el empleo deshonesto del plástico no se refiere al intento de convertirlo en otro material, sino en el desprecio que se manifiesta hacia su propio y complejo idioma. Igual que los materiales naturales, el plástico posee su propio conjunto de reglas, sus fórmulas de fabricación que regulan sus cualidades.

Una quinta parte de la población mundial camina sobre zapatos de plástico. En docenas de países, los sectores más pobres pueden comprar por monedas sus sandalias de polipropileno. En un solo proceso de fabricación, que es un golpe de moldeado por inyección, quedan formadas las suelas, las correas y las tirillas. Las sandalias duran más que el cuero, bajo todo tipo de circunstancias, y no puede ser duplicadas con la misma simplicidad por otro material. Los plásticos pueden copiar a otros materiales, pero ningún otro material puede hacer todo lo que consigue el plástico. Si esos papeles estuvieran invertidos, y si el plástico fuera un material natural, quizás extraído de las minas en la antigüedad pero actualmente escaso, y si en cambio el bronce fuera un material recién desarrollado y existente en grandes cantidades, lo probable es que los fabricantes estuvieran intentando, con dificultades considerables, que el bronce pareciera una imitación del plástico.

El papel, el vidrio, la arena, el humo y todos los otros materiales, sean o no utilizados por el hombre, poseen una agrupación particular de características que los hacen distintos. Los materiales naturales varían no sólo de un tipo a otro, como la madera es diferente de la piedra, sino que también cambian su carácter entre una sección individual y otra. Cada árbol es diferente de los otros árboles, y dentro del tronco y de las ramas esa variedad se continúa. Las raíces son sinuosas, la parte exterior del tronco es de madera blanda y flexible, la madera central es más dura, y en las juntas la madera es todavía más dura si el árbol ha desarrollado la resistencia necesaria para mantener en posición horizontal a una larga rama. Las fuerzas ejercidas sobre toda estructura, y especialmente si es móvil, varían considerablemente de un punto a otro. Algunas partes deben ser flexibles; otras exigen la rigidez. Una viga de aluminio, en el ala de un avión, es uniforme en su composición, a lo largo de toda su longitud, aunque está sujeta a exigencias muy distintas de carga entre los extremos y la zona central. Los ingenieros aeronáuticos no han resuelto este problema de relación entre estructura y carga con tanta fortuna como lo ha hecho la Naturaleza en los diversos huesos animales. Casi todos los huesos animales requieren cierta flexibilidad en sus dos extremos y una relativa rigidez en la parte

central. Una rápida mirada a la estructura de los huesos revela una maravillosa combinación en la que la flexibilidad se va convirtiendo en rigidez. La teoría que respalda a ese hecho tiene una analogía en la materia inorgánica. Una vara de vidrio sólido es muy rígida, y se quebrará fácilmente si se quiere doblarla, pero la misma cantidad de vidrio, colocada como finos hilos, se convierte en una cuerda con la fuerza de tensión de la vara original, más la flexibilidad, y así puede ser atada en un nudo sin que se quiebre. De tal manera el sistema de trabéculas óseas, cerca de los extremos del hueso, aporta un apoyo mecánico combinado con una flexibilidad; hacia el centro del hueso la flexibilidad va dejando paso gradual a la rigidez.

La forma en que los materiales de la Tierra se reúnen, para resistir mejor las fuerzas de su medio ambiente, es lo que determina la estructura. Y a su vez, la estructura es el factor determinante más inmediato para la forma.

NOTAS

1. Forma y materia

1. Existen dos clases básicas en las que pueden dividirse todas las sustancias: elementos simples y elementos compuestos. Los primeros designan a la materia en su forma más sencilla. Difieren entre sí según rasgos tales como punto de ebullición, punto de fusión, densidad, dureza, ductilidad, compresibilidad. Los elementos simples no pueden ser divididos o más simplificados por medios químicos comunes. El hierro, el aluminio y el calcio figuran entre los elementos simples. Los compuestos se integran con dos o más elementos simples, unidos en determinadas proporciones de pesos. Cuando se unen elementos simples para formar un compuesto, debe producirse una reacción química. La sal es un ejemplo de elemento compuesto, ya que está integrada por el sodio y por el cloro. Una mezcla difiere de una combinación en que se trata de una reunión azarosa de dos o más elementos, simples o compuestos, sin ninguna proporción en particular y sin una estructura química determinada. No es necesaria ninguna reacción química para que las mezclas se produzcan o dejen de existir.

Kenneth Oakley en Charles Singer / E. J. Holmyard / A. R. Hall, *A History of Technology*, vol. 1, Oxford University Press, Londres, 1956, pp. 10 y 11.

2. Parecería manifestar lo obvio el definir qué son gases, líquidos y sólidos. Sin embargo, hay algunos materiales que parecen ser lo que no son y otros que, en determinadas condiciones, parecen situarse entre dos de esos estados. El vidrio, por ejemplo, se mueve tan gradualmente del estado líquido al estado sólido que es imposible decir, en un punto dado, a cuál corresponde. Las siguientes son algunas guías básicas para la definición.

Sólidos. Tienen forma y volumen definido, resisten ante una fuerza de compresión, ante una fuerza de tensión y ante una fuerza de cizallamiento (por las definiciones de estos términos, véase el capítulo 2). Sin embargo, los sólidos cederán ante las tres fuerzas con el tiempo y/o si se ejerce una fuerza suficiente. Los sólidos se asemejan a los líquidos en que ambos poseen un volumen definido. Pero los sólidos no necesitan de un apoyo lateral para mantener su forma; en otras palabras, no necesitan un recipiente. Los sólidos difieren por igual de líquidos y de gases en que su forma es definida.

Líquidos. Se asemejan a los sólidos en el rasgo de tener un volumen, pero adoptarán la forma del recipiente que los contiene, en muy poco tiempo y con muy escasa fuerza. Los líquidos a escasa velocidad no resistirán a la fuerza de cizallamiento; cuanto mayor sea su viscosidad, será menor su tendencia a fluir, y cuanto mayor sea la velocidad de la fuerza, mayor será la resistencia al cizallamiento. Los líquidos contenidos en un recipiente residen a la compresión pero no resisten a la tensión.

Gases. No tienen un volumen ni una forma definida; fluirán hasta llenar cualquier forma y cualquier tamaño de recipiente; son infinitamente expansibles y se hacen cada vez menos densos al expandirse. Todos los gases se condensan hasta formar líquidos o sólidos cuando son enfriados y comprimidos hasta el grado suficiente. Cuando aumenta la temperatura aumenta también el volumen. Los gases resisten a la compresión, si son contenidos, pero no a la tensión. No resisten al cizallamiento a una velocidad lenta, pero muestran una resistencia creciente cuando se los expone a una fuerza de cizallamiento y a una velocidad en aceleración. Tanto los líquidos como los gases son definidos como fluidos.

3. La lección de la geología es universal. Todas las energías y sustancias se mueven hacia un punto de transacción: lo alto con lo bajo, lo numeroso con lo escaso, lo vivo con lo muerto, lo húmedo con lo seco, el calor con la ausencia de calor. Esta es una ley de evolución y del mundo: el principio de la entropía. Cuando todas estas energías -o energías potenciales- son agotadas, o se las agota, aumenta la entropía. Un aumento neto en la entropía es una predestinación de un universo que envejece. La entropía es aquel proceso igualador por el que el universo atraviesa un estado de caos y de desorden, hasta un final en el que todo tenga una misma temperatura, dejen de existir la energía y el trabajo, todo sea inerte y uniforme, con lo que el universo está muerto.

En términos de definición simple, la entropía es la medida de capacidad que posee un sistema para sobrellevar un cambio espontáneo de calor. El estudio del calor, la termodinámica, se vincula directamente a todo el proceso de envejecimiento del universo. La termodinámica es probablemente la rama más básica de la ciencia, dado que trata de la materia, la energía y el tiempo. Se basa en tres leyes:

a. El calor puede ser convertido en energía y la energía en calor. La suma de la energía es siempre igual a la cantidad de calor. El calor puede ser expresado en términos de energía. b. Cuando se realiza un intercambio libre de calor entre dos cuerpos, como proceso autónomo y continuo, el calor siempre queda transferido del cuerpo más caliente al más frío. c. Toda la sustancia posee una entropía definida (una consecución de energía para su funcionamiento) que se aproxima a cero cuando su temperatura se aproxima al cero absoluto.

Es posible moverse en el espacio, hacia adelante o hacia atrás, pero sólo cabe una dirección del viaje en el tiempo, debido a la Segunda Ley de la Termodinámica. El calor se mueve de lo más caliente a lo más frío, y lo inverso no es posible. Si se lanza un balón desde una ventana, cuando llega a golpear en el suelo ha disipado en esa acción una pequeña cantidad de calor. Si el tiempo fuera invertido, el balón rebotaría en su punto de impacto, reabsorbería el calor cedido y volaría nuevamente a la ventana de la que partió. Por la Segunda Ley, el calor no puede ser reabsorbido ni la acción puede ser revertida, con lo que el tiempo y el universo se mueven en sólo una dirección.

4. Debe señalarse que hay ciertos tipos de materia que carecen de una estructura organizada y son totalmente informes. Cuando los minerales carecen de una estructura cristalina se les denomina amorfos. Puede tratarse de elementos sólidos, como la arcilla, la piedra caliza o el vidrio. El material cristalino puede ser roto, sea mecánica o químicamente, con lo que los cristales ya no existirán y se convierten en un sólido amorfo. Si una sustancia está hecha de partículas no cristalinas mayores que las moléculas, habitualmente en un estado líquido, semilíquido o gaseoso, se la llama un coloide. La leche, la mayonesa y el humo son coloides. El tejido orgánico se halla a menudo en una masa coloidal, pero tal masa está habitualmente contenida dentro de un muro celular más estructurado.

5. La fricción es definida como la resistencia ofrecida ante el deslizamiento o el rodamiento de una superficie sobre otra. En su utilización humana, puede ser a la vez necesaria y molesta. Sin fricción, los neumáticos de un automóvil no moverían a éste ni podrían detenerlo; las manos del conductor no podrían controlar el volante, y además el conductor tendría dificultades en mantenerse sobre su sitio en el asiento. Sin embargo, el motor del automóvil prácticamente no se desgastaría si no fuera por la fricción. La calidad de la superficie y la presión ejercida son los dos factores de mayor importancia que controlan la fricción. Cuando la presión es excesiva y/o cuando la superficie es rugosa, se produce mucha fricción y se genera calor sin movimiento.

6. Se hace necesario considerar la intersección entre diferentes tipos de materiales y cómo se afectan recíprocamente entre sí. Se utilizan abrazaderas entre partes contiguas de una maquinaria, a fin de compensar las pequeñas imperfecciones de la superficie, permitiendo una unión sólida. Los revestimientos, la pintura, el forro duro, el blindado, son medidas que ayudan a que un material sea más adecuado a su lugar de utilización.

Algunos materiales se oxidan y controlan así sus propios cambios de superficie, con lo que de hecho se convierten en más resistentes al desgaste y a la acción química de su uso; esa oxidación ayuda a reducir la oxidación adicional.

7. Según el tipo de material y el tipo de desgaste, la sustancia retirada de una superficie que se desgasta pasa a veces a ser depositada en los huecos. Esto suaviza toda la superficie, dándole un pulimento o un lustre. A veces el material removido llega a derivar sobre la superficie sin echar anclas en lugar alguno; el efecto será un incremento que acelere el desgaste de la superficie.

8. Comúnmente los lubricantes son líquidos; los muy finos penetran mejor en la superficie, constituyendo una superficie de lubricación tan diminuta como una molécula. Los lubricantes livianos son útiles para movimientos de alta velocidad; los más grasosos son utilizados para partes de movimiento lento, para cargas pesadas y para piezas de movimiento recíproco. La primera es la lubricación de película fina y la segunda de película fluida. Ambas reemplazan a la fricción en seco. La condición resbaladiza de aceites y grasas proviene de su composición molecular y de su viscosidad, o sea, su resistencia a dispersarse. En el otro extremo de la escala se sitúan fluidos como el alcohol o el éter, que casi no poseen cualidades de lubricación. La condición resbaladiza de los lubricantes secos, como el grafito o el talco, proviene de las formas de sus partículas.