

Capítulo 1. Introducción

1.1. Evolución biológica y evolución cultural de las especies humanas

Ciertamente la tendencia a la innovación, el peculiar comportamiento social y la capacidad de instalarse en los más diversos hábitats modificándolos voluntaria o involuntariamente, son caracteres importantes del hombre, bases del tríptico tecnología, ambiente y sociedad objeto de este texto. En estas secciones introductorias queremos mostrar que muy probablemente estos caracteres han llegado hasta los actuales niveles como resultado de un prolongado y gradual proceso evolutivo en el cual han participado factores ambientales y genéticos, pero también culturales, cuales el desarrollo de tecnologías y de modalidades de organización social. Además, en su actual expansión, la especie humana afecta notablemente al ambiente, constituyéndose en una verdadera y propia anomalía evolutiva porque modifica las condiciones que la han modelado.

Las especies evolucionan. La evolución surge de las modificaciones con que es transmitida la información recibida por parte de una generación a la generación siguiente. Muchas especies, pero en forma muy importante las humanas, han estado y están sujetas a dos tipos de evolución: la genética, o biológica, y la cultural.

La *evolución genética* se debe a pequeños cambios casuales en el código genético, que incluye unos 6×10^9 pares de ADN por copia imperfecta en la reproducción, a los que pueden sumarse cambios también casuales debidos a la incidencia de radiación. Estos cambios difieren de individuo a individuo, y en algunos casos dan lugar a individuos con nuevos caracteres somáticos o habilidades que pueden o no favorecerlos *como reproductores* en razón del ambiente y de la estructura social. Si los nuevos caracteres son favorables, con el transcurrir de las generaciones crece la proporción de individuos que los poseen porque éstos tienen más probabilidad de convertirse en reproductores. Por el contrario, si los caracteres son desfavorables tienden a desaparecer los individuos que los poseen. De este modo la especie se va modificando, o *evoluciona*, al punto que puede llegar a constituir una especie diferente de la originaria. Si por algunas circunstancias la población de la especie originaria se divide en grupos separados (no necesariamente por barreras geográficas) de tal modo que según el grupo resultan favorecidos como reproductores individuos con diferentes caracteres, cada grupo sigue una propia ruta evolutiva hasta diferenciarse tanto como para originar una nueva especie (proceso de *especiación*). Esto ocurre cuando los eventuales híbridos que nacen de acoplamientos entre individuos de los grupos separados son estériles. En efecto, cuando la diferenciación ha alcanzado este nivel no puede retroceder por mezclamiento y se hace irreversible. Normalmente, para mamíferos, este proceso requiere que se acumulen modificaciones genéticas del orden del 1‰ del código genético original. El tiempo durante el cual debe perdurar la separación para que se dé dicha acumulación varía mucho según las especies. Para los primates parientes cercanos del hombre está en el orden de $0,5 \times 10^6$ años (0,5 MA).

Para hablar de *evolución cultural* se debe definir en primer lugar qué se entiende por *cultura*. Los antropólogos modernos coinciden en dar una definición por negación a este escurridizo concepto. Por de pronto el concepto no se aplica por lo general a una especie en su conjunto sino a comunidades o incluso a estados de éstas. Aclarado este punto, denominaremos *cultura* al conjunto de habilidades, formas de comunicación, conocimientos, creencias, actitudes, hábitos, normas de conducta hacia individuos de la

misma u otras comunidades, que no se transfiere por vía genética (ver, por ejemplo, *Cavalli Sforza, Gènès, peuples et langues*; en español *Genes, pueblos y lenguas*, Editorial Critica, 2000). La información cultural es recibida y transmitida siguiendo vías como la emulación, la imitación y la educación. Sin embargo posee interesantes analogías con la información genética puesto que en los procesos de transmisión y recepción de la información cultural también se producen modificaciones por transmisión imperfecta o por agregados y omisiones (piénsese como caso típico en el lenguaje). Por esta razón el patrimonio cultural de una comunidad no es estático y puede hablarse de *evolución cultural*, aún cuando, para que el concepto de evolución tenga sentido, las modificaciones deben ser bastante graduales como para que se pueda percibir una continuidad durante varias generaciones de ciertos rasgos distintivos (forma de subsistencia, elementos básicos de la estructura social, eventualmente idioma, y otros) que configuran lo que se denomina *etnicidad*. Es bueno aclarar que las especies del linaje humano no han sido las únicas en que se manifiestan evoluciones culturales, pero en el linaje humano han sido particularmente importantes y han permitido a las especies humanas adquirir, acumular y transmitir experiencias y conocimientos en proporción similar

La evolución genética y la cultural no proceden por carriles independientes. Por lo contrario, muchas veces se debe hablar de una *coevolución genético-cultural*, porque determinadas variaciones genéticas pueden resultar favorables o desfavorables según el modo de interacción con el ambiente natural o con otros individuos, desarrollado culturalmente. En la coevolución pueden darse procesos de realimentación. Es probable que los individuos favorecidos en razón de hábitos que la comunidad que integran ha adquirido culturalmente, lo sean merced a caracteres somáticos distintivos que transmiten por reproducción y que tienden a consolidar o reforzar dichos hábitos. De nuevo, en el caso del linaje humano, el proceso de coevolución genético-cultural desarrollado durante algunos millones de años ha sido particularmente importante y ha llevado a la actual especie humana a diferenciarse no sólo culturalmente sino también somáticamente en forma muy neta de las especies de los géneros cercanos, o sea de los primates antropoides (chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes) de las cuales nuestras especies ancestrales se fueron separando progresivamente entre 15 y 6 MAP.

Éstas y otras dataciones que se mencionarán más adelante se pueden establecer con razonable aproximación gracias a una técnica introducida en las últimas décadas del siglo XX y usada sistemáticamente desde 1990, llamada *triangulación genética*, que permite, a partir del código genético de individuos vivientes, construir matemáticamente ciertas partes del código genético que debió poseer el más probable ancestro común, y evaluar el tiempo transcurrido desde la existencia de ese ancestro por la cantidad de modificaciones genéticas sobrevenidas desde su código hasta la actualidad. En algunos casos, si se cuenta con partes de ejemplares bien conservados, la técnica puede aplicarse también a especies extinguidas. Para una interesante y accesible descripción de esta técnica puede verse *The ancestor's Tale*, Richard Dawkins, 2004 (en español *El cuento del antepasado*, Ed. Antoni Bosch, 2008).

En la Figura 1.1 se muestran los porcentajes de diferenciación de pares de ADN entre las especies actuales más cercanas al hombre y los últimos ancestros comunes. Existe una aproximada proporcionalidad entre el porcentaje de diferenciación y el tiempo transcurrido desde la ramificación a partir del último ancestro común, que puede estimarse para estas especies en 0,2% cada millón de años. La especie viviente que comparte con nosotros, o sea con la especie *Homo Sapiens*, ancestros más recientes es

la de los chimpancés (*Pan troglodites*, género *Pan*), con la cual compartimos ancestros hasta hace unos 6 MA. Es importante señalar que la figura no significa para nada que las especies actuales *Homo sapiens* y *Pan trogloditas* hayan existido más o menos como son ahora desde la ramificación del árbol genético representado: sólo dice que cuando se produjo la ramificación existía un ancestro común que tal vez difería tanto de los actuales hombres como de los actuales chimpancés; además, desde la ramificación aparecieron en ambas ramas numerosas especies, algunas de las cuales se encuentran a lo largo de la ruta evolutiva que ha llevado a las especies actuales y otras en ramas que se extinguieron (no representadas en la figura). En el caso de los chimpancés, después de la ramificación que los separó de los pre-humanos, se dio otra ramificación que dio lugar a una especie actual: los bonobos o *Pan paniscus*.

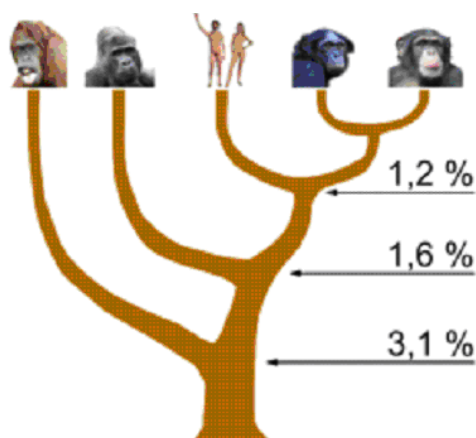


Figura 1.1. Porcentajes de diferenciación de pares en los ADN de *Homo sapiens* y especies cercanas actuales respecto del ADN (reconstruido matemáticamente) de los últimos ancestros comunes. En términos de tiempo puede estimarse aproximadamente hace cuanto tiempo existió el ancestro común recordando que en 1 MA la diferenciación que se produce en estas especies es alrededor del 0,2%

Todos los hombres actuales pertenecemos a una sola especie del género *Homo*, a la cual con cierta inmodestia hemos denominado *Homo sapiens* (*HS*). Esta especie se originó en el centro-este de África entre 250 y 200 kAP, es decir cuando el género *Homo* ya desde mucho tiempo estaba separado del *Pan*. El mismo género *Homo* apareció bastante después de la ramificación, alrededor de 2,5 MAP, siendo precedido en el linaje humano por uno o tal vez dos géneros precedentes. Hoy se sabe que el *HS* surgió por una evolución africana de una especie humana más antigua, también originaria de África, denominada *Homo erectus*, a su vez precedida por otras especies del género. Algunos grupos de *Homo erectus* alcanzaron hacia 1 MAP regiones de Asia y Europa, en migraciones que seguramente se repitieron varias veces en tiempos más recientes y, que, como se verá, dejaron descendientes hasta épocas relativamente cercanas. Por esta razón, se especuló sobre un posible origen no africano del *HS*, posibilidad hoy descartada. Finalmente (después de migraciones de algunos grupos que no pasaron del Cercano Oriente entre 130 y 80 kAP y que probablemente se extinguieron), alrededor de 50 kAP grupos de *HS* se dispersaron por el resto del mundo y se reprodujeron hasta formar grandes poblaciones en ambientes geográficos relativamente aislados entre sí. Así, la evolución cultural ha generado notables diferencias entre comunidades de *HS*, en parte asociadas con dichos ambientes geográficos. Pero, pese a ciertas diferencias

somáticas menores que motivan la aberrante concepción del racismo, la diferenciación genética entre estas poblaciones es ínfima, en primer lugar porque el tiempo transcurrido desde la dispersión ha sido escaso, y también porque los hábitos migratorios de la especie han generado y siguen generando continuos mezclamientos.

Los caracteres genéticos y culturales de los *HS* son, como se ha dicho, el resultado de evoluciones genéticas y culturales fuertemente imbricadas, por lo tanto de una coevolución genético-cultural. Así como los primates antropomorfos actuales, los individuos de las especies que dieron lugar al género *Homo* vivían formando numerosos grupos de algunas decenas de individuos. La diferenciación provino de las modalidades seguidas para la alimentación en los grupos, a su vez muy probablemente ligadas al bipedismo (véase por ejemplo R. Dawkins, obra citada), es decir a la adopción de una postura erecta para desplazarse. Surgieron como consecuencia modificaciones tanto somáticas como culturales que se realimentaron. Entre las primeras se cuentan la conformación de las manos y antebrazos, el incremento del volumen del cráneo, la reducción de la masa muscular e importantes cambios del ciclo vital. Entre los segundos la cooperación sistemática para obtener alimentos y su reparto entre los integrantes del grupo, el desarrollo de la crianza cooperativa, el refuerzo de los mecanismos de transmisión y acumulación de saberes. A través de estos cambios, mucho más que en las especies genéticamente cercanas, creció la capacidad de los humanos para adaptarse a diferentes hábitats y modificarlos en su beneficio. El lenguaje, la escritura y la informática, han permitido, a través de los diferentes estados del desarrollo humano, llevar la capacidad de acumulación, análisis y transmisión de los conocimientos a niveles tales que ha sido y es muy fuerte la tentación de situar al *HS* en una categoría diferente de la de los otros animales.

No hay duda de que esa tentación se funda en datos en apariencia objetivos. La importancia de la cultura y la cooperación en el *HS* ha conducido a una espectacular anomalía evolutiva. Las adaptaciones extra-somáticas, el dominio de la tecnología y el éxito de nuestra especie en colonizar casi todo hábitat terrestre no tienen parangón. La biomasa de *HS* es alrededor de ocho veces la biomasa sumada de todas las especies silvestres de vertebrados terrestres, y es equivalente a la biomasa que acumulan todas las 14.000 especies de hormigas, los invertebrados terrestres más exitosos. Podría pensarse que este asombroso éxito biológico surge de los avances tecnológicos recientes, pero los datos con que contamos sugieren que, incluso si los *HS* no hubiesen sabido desarrollar en varios lugares del mundo y en forma independiente la agricultura, los *HS* cazadores-recolectores habrían alcanzado una población global de varias decenas de millones de individuos distribuidos en todos los continentes y una biomasa total superior a la de cualquier especie de grandes vertebrados terrestres (K. Hill, M. Barton, y A.M. Hurtado, *The Emergence of Human Uniqueness: Characters Underlying Behavioral Modernity*, *Evolutionary Anthropology* 18:187–200, 2009). Esto es bastante impresionante si se tiene en cuenta que las dos especies de primates más afines al hombre, chimpancés y bonobos, suman en conjunto unos 500.000 individuos, y sus hábitats se limitan a una parte de las selvas ecuatoriales africanas (muy interesantes datos sobre los hábitos y las estructuras sociales de estas especies pueden encontrarse en la amena obra *Our Inner Ape*, Frans de Waal, 2005; en español *El mono que llevamos dentro*. Metatemas 96, 2007).

Sin embargo, si bien subsisten muchos puntos no completamente aclarados, existe hoy día consenso entre los científicos acerca de que en la ruta evolutiva genético-cultural del linaje humano desde su separación del de los chimpancés no hubo discontinuidades.

Recientemente se ha hablado de la llamada *modernidad comportamental (MC)*, y se ha especulado acerca de su surgimiento súbito atribuido a una presunta modificación genética que habría ocurrido unos 40 kAP en el *HS*, utilizándose expresiones como “salto hacia delante” o “transición”. El concepto de *MC* es útil para dar un nombre a un estado cultural “avanzado”, caracterizado por lenguajes complejos, acentuación de la etnicidad acompañada por marcas y coloraciones distintivas en la piel, sepulturas culturales, ritos propiciatorios, uso de adornos para embellecimiento personal, utensilios de formas no estrictamente utilitarias o decorados, expresiones artísticas gráficas, plásticas y musicales, fabricación de artefactos compuestos por muchas piezas, o tecno-unidades, que requieren “diseño”, frecuencia de innovaciones, uso de embarcaciones y empleo de alimentos u objetos marinos, intercambios entre comunidades distantes. Pero, a medida que se extienden las investigaciones y se mejoran las dataciones, aparecen más evidencias de que estos caracteres no han surgido en forma abrupta en alguna región del mundo. Manifestaciones de *MC* se dieron en lugares aislados entre sí y dentro de un abanico de más de 100.000 años. Es más, aunque actualmente existe una única especie humana, hasta unos 30 kAP existió otra especie, ahora extinguida, el *Homo neanderthalensis (HN)* que siguió una ruta evolutiva diferente de la del *HS* con últimos ancestros comunes alrededor de 650 kAP, probablemente pasando por grupos de *Homo erectus* que emigraron en aquel período de África y quedaron luego aislados en Asia o Europa. Esta segunda especie casi seguramente también alcanzó varios rasgos propios de la *MC* (por ejemplo, J. Zilhao, *Modernos y Neandertales en la transición del Paleolítico Medio al Superior en Europa*, Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Nueva época. Prehistoria y Arqueología, t. 1, 2008. pp. 47-58). Esto sugiere que el *Homo erectus* poseía ya el patrimonio genético que hizo posible la *MC*.

La apariencia de surgimiento abrupto que muestra la *MC* puede tener varias razones. Muchos procesos culturales se auto-aceleran o auto-catalizan: si una innovación genera un incremento de población (como es de prever), el ritmo de innovaciones crece. Entonces la cantidad de restos “testigos” se multiplica. Es posible que la apariencia de salto abrupto sea más notable en Europa, donde se produjeron importantes inmigraciones de *HS* desde África unos 40 kAP, pero las migraciones que llevaron grupos de *HS* a Indonesia y Australia, lo cual requirió embarcaciones elaboradas y planificación, parecen anteceder en unos 20.000 años la “explosión” de la *MC* en Europa. Por otra parte, de las obras de arte, el carácter más acabado de *MC*, ha llegado hasta nosotros una mínima fracción de tallas y pinturas realizadas con materiales perdurables. Y si bien estas obras, de las cuales se dan ejemplos en las Figuras 1.2 y 1.3, aparecen sobre todo a partir de 30 kAP nada indica que no hubo antecedentes, sólo que en menor cantidad o en materiales perecederos.



Figura 1.2. Cabeza de mujer tallada en marfil (colmillo de mamut) proveniente de Francia, datada entre 20 y 25 kAP



Figura 1.3. Cabeza de hombre tallada en marfil (también colmillo de mamut), proveniente de la República Checa, datada alrededor de 26 kAP

Hemos señalado como parámetro significativo del éxito biológico de la especie humana la población alcanzada. La ciencia que mide o estima las poblaciones y su distribución territorial, su conformación por género, edades y otros caracteres, así como intenta explicar y prever sus variaciones, se llama demografía. La población varía por la diferencia entre tasa de natalidad y tasa de mortalidad, medidas por el número de nacimientos, o de muertes según el caso, por unidad de tiempo (por lo general el año) y por individuo. Por ejemplo una tasa de natalidad de 0,05 significa que en promedio se producen por año 5 nacimientos cada 100 individuos. Existe una (aproximada) tasa teórica máxima de crecimiento de población para la especie humana, determinada por el ciclo vital y la frecuencia medio de alumbramientos de una mujer durante la etapa de fertilidad. Esta tasa se estima en 0,035, y conduciría a una duplicación de la población cada 20 años (Cavalli Sforza, obra citada). Las poblaciones han variado de acuerdo con tasas diferentes en diferentes épocas y en diferentes lugares, pero esas tasas han sido siempre mucho menores que la máxima teórica, salvo en los últimos 200 años, cuando el valor de la tasa media global ha superado la mitad de la máxima teórica. También se han dado períodos muy largos de virtual estabilidad de la población (tasa muy cercana a cero) y hasta de reducción (tasa negativa), que ha llevado algunas comunidades a la extinción. Seguramente en las etapas de la evolución humana que hemos considerado, la tasa de variación poblacional dependió de las tecnologías disponibles, incluyendo entre éstas en un sentido amplio las que se refieren a formas de organización social, modo de sustentación, métodos para dirimir conflictos tanto entre individuos dentro de una comunidad como de comunidades entre sí, y, en general, a la capacidad de planificación, o sea, a tomar decisiones sobre la base de conjuntos de hipótesis o supuestos a veces alternativos, y no simplemente como reacciones ante la realidad inmediata.

Sean cuales fueran las causas, que desde luego merecen detenidos estudios, es cierto que la población humana ha mantenido una tasa media de incremento menor de 10^{-5} , muy pequeña en comparación con la máxima teórica pero positiva, al menos hasta la gradual difusión de la MC. Esta difusión, que se hizo importante a partir de aproximadamente 40 kAP se asoció tanto con un incremento del tamaño de los grupos

como de la población total, que, probablemente creció a una tasa cercana a 10^{-4} : Sin embargo se trató siempre de valores mucho menores que las tasas de natalidad y de mortalidad tomadas por separado, del orden de 0,05, o sea centenares de veces más grandes. Desde luego, en condiciones de equilibrio ecológico, situaciones similares se dan en todas las especies por causas diversas: disponibilidad de recursos, estructura grupal con exclusión de una gran proporción de individuos, existencia de predadores, entre otras. En el caso de los primates cercanos al hombre, la estabilidad de la población se debe a la elevada mortalidad infantil y juvenil por muertes cuyas causas se denominan *externas*, vinculadas con infanticidios, conflictos violentos y accidentes. Es razonable que etapas de la evolución humana en las cuales surgieron o se perfeccionaron tendencias pro-sociales, que sin duda incidieron sobre este tipo de mortalidad, se correspondan con etapas de crecimiento de la población global. De todos modos grandes desequilibrios entre ambas tasas se han dado solo recientemente, en particular después del surgimiento de las culturas agrícolas.

1.2. Tecnología, ambiente y sociedad en la evolución de las especies humanas.

Según el mencionado trabajo de Hill, Barton & Hurtado, el espectacular éxito biológico del *HS*, así como la aptitud para producir obras como las que se muestran en la Figuras 1.2 y 1.3, tuvo como factores claves la capacidad de acumulación cultural y los mecanismos que promueven la cooperación entre no-parientes. Como se ve, se trata de aspectos que podríamos considerar tecnológicos y sociales, pero que también responden a cambios del ambiente, y que, finalmente, como consecuencia del fenomenal éxito biológico de la especie al cual nos referimos, lo afectan profundamente.

Para comprender mejor como estos aspectos se han entrelazado desde millones de años en la evolución humana vale la pena reportar en forma resumida la secuencia evolutiva genético-cultural que estos investigadores proponen. Hay bastante concordancia en que el carácter que significó la separación entre el linaje humano y el de los chimpancés fue el bipedismo, muy probablemente asociado con el ambiente y sus cambios. Entre los primates ancestros comunes de los géneros *Homo* y *Pan*, algunos grupos que vivían cerca de los márgenes de las grandes selvas ecuatoriales africanas probablemente quedaron aislados cuando en esas zonas las selvas, debido a los cambios climáticos rápidos y frecuentes sobre todo desde algunos millones de años, se convirtieron en parches rodeados por sabanas, parches que a su vez progresivamente se achicaron hasta desaparecer. En esas condiciones la mayor aptitud para adoptar posturas erectas (todos los primates antropomorfos adoptan por momentos tal posición) se convirtió en una rasgo evolutivamente favorable sobre todo por la liberación de las manos para transportar objetos y alimentos. A partir de la adopción del bipedismo la ruta evolutiva del linaje humano pudo ser la siguiente:

A. El bipedismo privilegió la destreza en el uso de las manos (asociada con su anatomía y con ciertas conformaciones cerebrales), facilitó el transporte de alimentos y por tanto agrandó el área de explotación (se estima que el radio medio del área de explotación de grupos humanos cazadores-recolectores es un orden de magnitud mayor que el de grupos de chimpancés). Estos rasgos favorecieron un uso más amplio de herramientas originando selectividad a favor de la capacidad de aprendizaje para su fabricación: a partir de unos 2,5 MA la aparición de herramientas de piedra muestra

incuestionablemente habilidades no presentes en otros primates, pero estas habilidades pudieron ya estar presentes en herramientas no líticas precedentes. El agrandamiento del área de explotación implicó una preadaptación importante para futuros desarrollos, puesto que provocó un deslizamiento de la dieta hacia recursos dispersos pero de alto contenido energético específico, los que podían ser transportados hasta un área de residencia relativamente alejada y bien protegida (hogar del grupo).

B. El deslizamiento de la dieta hacia alimentos obtenidos a distancias considerables del hogar del grupo generó una dependencia de los miembros juveniles respecto de los adultos. Esto promovió en primer lugar la crianza cooperativa por parte de parientes, conllevando selectividad a favor de tempranos impulsos pro-sociales, del reparto intencional y sistemático de recursos, y de formas de comunicación más complejas que facilitaron la especialización de tareas en un marco de integración en pos de metas compartidas por quienes cooperaban en la crianza de los juveniles. La emergencia de un sistema económico fundado en el hogar grupal facilitó la recuperación de adultos debilitados por enfermedades o heridas, favoreciendo caracteres somáticos tales la prolongación de la madurez sexual y de la senescencia.

C. La capacidad de imitación y la cooperación intencional y sistemática se aunaron para incrementar la capacidad de acumulación cultural. Esta se fundó en un modo pedagógico de interacción en el cual los imitadores, en vez de intentar competir con quienes eran sus modelos, asumieron que estos los ayudaban adrede. La emergencia de una cultura acumulativa fue un proceso lento porque el aprendizaje social de "alta fidelidad" resulta muy favorecido selectivamente sólo cuando existe ya un importante patrimonio de rasgos culturales, es decir, se trata de un proceso que se auto-cataliza. Para que se produzca acumulación cultural debe existir una importante población que haga posibles cercanas y frecuentes interacciones entre modelos e imitadores, y extensos lapsos de estabilidad para permitir que las innovaciones aparezcan, se difundan y se consoliden sin pérdidas debidas a procesos estocásticos.

D. La capacidad de acumulación cultural y los impulsos pro-sociales condujeron a pautas de lenguaje propias de cada comunidad, a la etnicidad (diferenciación cultural entre comunidades que elaboran diferentes respuestas según el entorno ambiental), que a su vez impulsó los miembros de cada comunidad a distinguirse mediante tinturas y adornos, y a una amplia cooperación entre no parientes. Esto permitió el surgimiento de normas sociales que regularon la formación de parejas de diferentes parentazgos y promovieron las interacciones pacíficas entre grupos. Al mismo tiempo surgieron hábitos de regalos mutuos y de comercio. Como consecuencia del incremento en el tamaño de conjuntos de grupos con efectiva interacción, compuestos por miembros de múltiples unidades sociales y residenciales, cada una capaz de aportar modelos para imitar, la acumulación cultural se aceleró enormemente. Las crecientes tendencias cooperativas con el sustento del aprendizaje social se convirtieron cada vez más en factores selectivamente favorecidos hasta producir una especie culturalmente y socialmente única.

Una síntesis de los principales aspectos de las comunidades cazadoras-recolectoras características de la totalidad de esta evolución puede encontrarse en B. Winterholder, en *The behavioural ecology of Hunter-Gatherers, Cap. 2, Hunter-Gatherers. An interdisciplinary Perspective*, editado por C. Panter Brick, R. H. Layton and P. Rowley-

Conwy, Cambridge University Press, 2001. Según este autor los aspectos esenciales fueron: el igualitarismo, o sea la ausencia de estructuras jerárquicas fuertemente instaladas; la práctica del reparto del producto de la caza y de la recolección entre los integrantes de los grupos; la limitación de la caza y de la recolección a las necesidades de corto plazo, sin constituir reservas más allá de las indispensables para el próximo invierno; una limitada diferenciación de género, consistente básicamente en una mayor (pero no excluyente) dedicación a la caza de los hombres respecto de las mujeres, y de éstas a la recolección.

El hábitat ha jugado un importante rol en esta evolución desde el paso inicial que significó el bipedismo. Las especies humanas lograron instaurar una capacidad para manipularlo primero en escala pequeña, gracias a la ya mencionada utilización de refugios o abrigos naturales y luego, en concomitancia con el deslizamiento hacia una dieta carnívora, a través del uso de las pieles de los herbívoros de los cuales se nutrían. En los primeros estados lograron así reducir el requerimiento de energía endógena, la que todo organismo genera gracias a la alimentación. Alrededor de 1 MAP, la capacidad de manipulación del hábitat creció grandemente cuando los *Homo erectus* aprendieron a controlar el fuego, con lo cual comenzó por parte de los humanos el empleo de fuentes de energía exógena. El control del fuego hizo posible el acceso a regiones del planeta climáticamente y ecológicamente muy diferentes de las originarias de África Central, porque permitió superar en regiones templadas la crudeza de los inviernos glaciales, alejar a depredadores y mejorar la conservación y digeribilidad de alimentos. La diversidad de hábitats a los que accedieron los humanos favoreció la etnicidad, conduciendo al desarrollo independiente por parte de comunidades alejadas de una correspondiente diversidad de tecnologías y saberes que aceleró, gracias a los intercambios, la acumulación cultural.

Durante el extenso período cazador-recolector el impacto de las comunidades humanas sobre el ambiente no fue nulo, pero probablemente modesto. Debe sin embargo señalarse que el uso de herramientas, a las que se puede visualizar como artificios que permiten obtener efectos que superan los que serían naturales dada las características anatómicas de la especie, potenció la acción humana sobre el ambiente ya en eras tempranas. Así, el hombre supo modificar, en razón de sus necesidades, los sistemas naturales, al punto que comenzó a incidir en el retroceso y en la desaparición de otras especies. El fuego fue y es una de los medios utilizadas por los cazadores-recolectores, tanto para conducir los animales hacia encierros, cuanto para mantener libres de masa forestal zonas para el pastoreo de las especies preferidas como alimento, acompañando sus desplazamientos y alejando sus predadores no humanos.

De todas maneras, el impacto en gran escala del hombre sobre el ambiente comienza con el surgimiento de la agricultura, es decir con la domesticación de plantas y animales, a su vez hecho posible gracias a la insólita estabilidad climática del Holoceno, que perdura desde unos 11.5 kA (el tema se tratará en el Capítulo 5). La difusión de la agricultura trajo un cambio cualitativo en la incidencia del HS sobre el ambiente puesto que significó reemplazar la selección natural por la selección humana de las especies elegidas. Progresivamente, el proceso de domesticación de especies condujo al desarrollo en gran escala de sistemas de producción, los agroecosistemas, que substituyen los sistemas naturales.

En resumen, la tecnología, la estructura social y el ambiente se han entrelazado fuertemente con la evolución de las especies humanas desde su aparición, en especial si dentro de la denominación general *tecnología* incluimos, como corresponde, el modo de

aprendizaje. A la evolución descrita se han sumado, realimentándose mutuamente, una serie de importantes modificaciones somáticas, a algunas de las cuales ya hemos aludido. No debe sorprender, en vista de cómo se han conformado los caracteres de nuestra especie, que impulsos hacia la cooperación, la crianza colectiva, la protección de individuos débiles, el reparto de bienes, la vocación a la transmisión cultural, la curiosidad, la exploración y la búsqueda del conocimiento, la tendencia a la innovación, sean propios de nuestra índole, porque a través de esos impulsos nos hemos modelado. Sin embargo debe aceptarse también que nuestro actual mundo, justamente debido al espectacular éxito biológico de nuestra especie, y probablemente en forma más acentuada desde el surgimiento de las culturas agrícolas, no es el mismo en el cual se desarrolló nuestra evolución. Esta es probablemente la causa de grandes tensiones, tanto propias de los individuos, como entre grupos y enteras comunidades. Así, la etnicidad, o sea una diversidad cultural que favoreció la acumulación de conocimientos e innovaciones por intercambio, ha dado lugar a aberraciones cuales la xenofobia y el racismo, y cuesta reconocer al individuo ansioso por acumular riquezas como miembro de una especie que evolucionó gracias al impulso a la cooperación y al reparto de los recursos.

1.3. Las tecnologías de la supervivencia: el acceso a energía endógena y exógena.

Un aspecto central para la supervivencia de los seres humanos es la relación con las diferentes fuentes de energía. Todas las especies, incluyendo la nuestra, utilizan y transforman la energía. Desde los vegetales, capaces de captar y transformar la energía solar, hasta los animales, quienes acceden a la energía captada, transformada y acumulada por los vegetales y la transforman a su vez para subsistir. Esta energía, que llamaremos metabólica o endógena, es obtenida gracias a la ingestión de alimentos y a su procesamiento en el propio organismo. Por contraposición llamaremos exógena a la que se libera externamente al organismo.

Los alimentos no solo son necesarios para proveer la energía para el funcionamiento de un organismo, sino también para proporcionar sustancias indispensables para que ciertos procesos sean posibles. Pero ahora nos ocuparemos de los requerimientos de energía, que, debe aclararse, son importantes incluso en condiciones de reposo. La necesidad de energía endógena para un HS adulto es entre 2000 y 2500 kcal por día (en lugar de kcal, o kilocalorías, es común el uso de la palabra Calorías, con C mayúscula, y es importante recordar la equivalencia con las unidades MKS de energía: 1 kcal = 1 Caloría = 4,186 kJoules o kJ). En unidades MKS la necesidad de energía endógena es, entonces, de aproximadamente 10 MJ por día. También se la puede expresar en términos de potencia media, o sea energía/tiempo. En unidades MKS la potencia endógena media por persona adulta es (recordando que el día tiene 86.400 s) aproximadamente 120 W (W expresa vatios, la unidad MKS de potencia).

El contenido energético de las sustancias que se ingieren es liberado por oxidación, pero dicho contenido varía mucho de sustancia a sustancia. Además, algunas requieren importantes transformaciones antes de que el organismo pueda aprovechar su energía. Finalmente, una fracción, significativa sobre todo de los vegetales (celulosa y lignina, que conforman la parte estructural de las plantas y que significan alrededor del 70% de su masa total) aun cuando sea ingerida no puede ser utilizada por el organismo humano para producir energía endógena.

No debe sorprender que gran parte de los desarrollos tecnológicos desde los albores de la humanidad se han relacionado con los alimentos: como obtenerlos y transportarlos, como elaborarlos para que sean utilizables por el organismo humano y como conservarlos. Pero, a partir de la conclusión de la última abrupta variación climática, el Younger-Dryas, aproximadamente 11,5 kAP, de la cual emerge el período cálido y estable conocido como Holoceno (ver, por ejemplo, el Capítulo 5 de este texto, o también *Historia del Clima de la Tierra*, A. Uriarte, 2008, <http://homepage.mac.com/uriarte/index.html>) comienza a producirse una transformación que terminó por afectar hondamente tanto los hábitos alimentarios y las tecnologías relacionadas, como la organización de las comunidades humanas y su relación con el ambiente. En varios lugares del mundo, si se quiere como una manifestación más de modernidad comportamental, aparece en forma seguramente independiente aunque no estrictamente simultánea la agricultura, es decir la domesticación de plantas y animales probablemente como medio para hacer más seguro el acceso a alimentos. Como se verá en el Capítulo 5 todavía se discute cómo y porque, tras un larguísimo período durante el cual las especies humanas subsistieron gracias a la caza-recolección, surge esta modalidad que ciertamente implica un mucho mayor grado de manipulación del ambiente, pero también una mayor vulnerabilidad respecto de cambios climáticos. Porque, fuesen cuales fueran las causas del surgimiento de las culturas agrícolas, se puede asegurar que sólo la estabilidad climática del Holoceno las hizo viables. Culturas agrícolas sustentables sencillamente habrían sido imposibles en un período como la última glaciación, signado por grandes y abruptas variaciones climáticas y, además, por una baja humedad y una baja concentración de CO₂ en la atmósfera. Esto puede comprenderse si se tiene en cuenta que incluso en épocas recientes y en la actualidad, las relativamente muy modestas variaciones climáticas del Holoceno generan graves crisis y han llegado hasta a provocar la desaparición total de algunas culturas. Con la expansión de la agricultura el hombre logró en medida creciente controlar la evolución de las especies elegidas para la alimentación, así como de las especies competidoras o depredadoras de las elegidas.

Como se discutirá en los Capítulos 5 y 6, la agricultura es una tecnología que produjo un cambio progresivo en la cantidad y calidad de los alimentos, así como en el tipo y en la escala de los riesgos que pueden comprometer su disponibilidad. Desde sus inicios hasta épocas muy recientes, la agricultura requirió la dedicación de una fracción muy grande de las poblaciones, para lograr que se sostuviera una pequeña fracción dedicada a otras tareas. En palabras modernas hasta hace poco fue una actividad caracterizada por el uso intensivo de mano de obra y quizá por este carácter tiende a ser expansiva.

La agricultura ha generado un enorme impacto ambiental y una gran transformación de las comunidades humanas. El impacto más vistoso ha sido el incremento global de la población humana. Si antes de la etapa agrícola la población total y la concentración de la población en las áreas ocupadas eran bajas, la agricultura significó la posibilidad de sostener mayor cantidad de personas por unidad de tierra utilizada (The origins and spread of agriculture and pastoralism in Eurasia. David R. Harris, 1996).

El carácter expansivo de las culturas agrícolas introdujo conceptos nuevos en las culturas humanas. Aparecieron distintas formas de organización de las comunidades, con el surgimiento de estructuras regionales, en las que se acentuó la división de trabajo respecto a la existente en las comunidades cazadoras-recolectoras, el consiguiente concepto de intercambio reemplazó al de reparto y surgió el impulso hacia la

acumulación de bienes personales, adquirieron gran peso sectores numéricamente minoritarios dedicados a funciones no directamente relacionadas con la producción de bienes (sacerdotes, guerreros, administradores, comerciantes, etc.), surgieron normas para legitimar y mantener el dominio de pocos individuos con vocación de poder sobre comunidades muy numerosas. En paralelo, aparecieron distintas formas, a veces violentas, de interacción competitiva entre las comunidades. Es común la idea que estos caracteres son propios del hombre como especie. Sin embargo esta idea es cuanto menos discutible: no debe olvidarse que incluso si nos limitamos al *HS*, la especie existe desde al menos 200 kAP y las transformaciones post-agrícolas abarcan menos del 5% de ese lapso.

Si el acceso a alimentos, o sea a fuentes de energía endógena, es esencial para cualquier especie, a lo largo de la evolución genético-cultural de las especies humanas se ha ido generando una dependencia cada vez más pronunciada de fuentes de energía exógena, convirtiéndolas también en esenciales para la supervivencia. La más directa y preponderante es la energía obtenida por combustión o quema de combustibles, o sea la oxidación rápida extra-metabólica de diferentes sustancias, básicamente hasta épocas recientes la materia seca de plantas no utilizable como alimento. Aproximadamente 1 MAP grupos de *Homo erectus* aprendieron a controlar el fuego. Es destacable que el contenido energético que libera una planta por combustión no metabólica es por lo general mayor que el que obtiene el hombre como energía endógena, puesto que nuestro organismo no utiliza la celulosa y la lignina.

Podría pensarse que la energía exógena es menos indispensable que la endógena para la supervivencia. Sin embargo, la evolución cultural y las migraciones han llevado el *HS* a adoptar modos de subsistencia y ocupar hábitats que requieren, para que los individuos puedan sobrevivir, importantes aportes de energía exógena en primer lugar para la creación de microclimas adecuados mediante la calefacción y la iluminación.

Un segundo aspecto que genera requerimientos de energía exógena por parte del *HS* es el transporte, tanto de individuos como de bienes. Es notable que la mayor capacidad de desplazamiento propio y transporte de alimentos respecto de otros primates debida al bipedismo, haya sido una capacidad distintiva de los ancestros del hombre. Y seguramente la adaptación al desplazamiento ha sido un factor selectivo en la evolución del linaje humano. Muchas especies poseen movilidad y ejecutan movimientos migratorios. Inclusive, esta movilidad ha implicado una limitación al proceso de especiación. En el caso de la especie humana, el desarrollo de medios de movilización y transporte eficientes, a la par que responde a una índole modelada por la evolución, permitió “escapar al circuito de regulación local, que limitaría las poblaciones por debajo de cierto nivel” (Margaleff, 1995). El transporte coadyuvado por fuentes de energía exógena, en una primera etapa explotando la fuerza muscular de animales domesticados, el arrastre de corrientes de agua o el viento, le ha permitido al hombre aumentar su desplazamiento, ocupar transitoria o permanentemente nuevos territorios y trasladar materiales hacia lugares de asentamiento en lugar de trasladar las poblaciones hacia las fuentes. En el mundo moderno el transporte de bienes sobre grandes distancias se ha tornado un elemento de supervivencia, porque en su ausencia desaparecerían grandes metrópolis y enteras regiones.

Finalmente, la multitud de nuevas tecnologías, no últimas las que permiten obtener altos rendimientos de cultivos, significa el insumo de grandes montos de energía exógena para la fabricación en gran escala de herramientas, artificios de todo tipo y para la obtención y transformación de los materiales necesarios.

A título de comparación, podemos adelantar que la potencia exógena que actualmente utiliza la humanidad por individuo es en promedio cerca de 20 veces mayor que la potencia endógena de 120 W calculada también por individuo. Sin embargo, como se verá en el Capítulo 8, la gran entidad de este desequilibrio es propia de épocas recientes. Hasta cerca de 400 AP la potencia exógena utilizada por individuo era del mismo orden que la endógena o a lo sumo la superaba por un factor entre 2 y 3. Aún ahora, en países poco industrializados la potencia exógena disponible por individuo es de 200 o 300 W en promedio. Esta enorme y reciente desproporción entre energía exógena y endógena a favor de la primera, ha tenido y tiene un gran impacto sobre la sociedad humana y no se puede afirmar “a priori” que toda la potencia exógena que se utiliza sea realmente indispensable.

Debe señalarse que los accesos a estas dos formas de liberación de energía no son del todo independientes. Una parte importante de la energía exógena se utiliza para facilitar y en algunos casos posibilitar la producción de alimentos, su conservación y su transporte. Pero las crecientes necesidades de energía exógena pueden también influir negativamente sobre la disponibilidad de alimentos, ya sea por la competición en el uso del territorio, ya sea en forma indirecta, a través de modificaciones del ambiente. Varios aspectos de esta interdependencia aparecerán en diferentes capítulos de este texto.

La fuerte variación de población de los últimos siglos ha generado un incremento aproximadamente proporcional de las necesidades de energía endógena, es decir, de alimentos, y mucho más que proporcional de energía exógena, puesto que al incremento en el número de individuos se le ha sumado en este último caso el enorme incremento del uso “per capita” de esta forma de energía. Es más que legítimo plantearse si será posible atender en el futuro a las demandas de alimentos y de energía exógena, no sólo si la población siguiera incrementándose, sino también si se mantuviera estable en los valores actuales, y cuales serían las consecuencias de la eventual imposibilidad. Por otra parte, se ha hecho imprescindible evaluar los efectos ambientales de las enormes producciones requeridas, incluso en caso de ser éstas tecnológicamente factibles.

En las secciones siguientes se describirán en forma introductoria las principales tecnologías vinculadas con la alimentación y con la generación de energía exógena y los problemas que se vislumbran en ambos casos para la humanidad actual.

1.4. Los alimentos de los seres humanos y las tecnologías involucradas

La energía endógena que el hombre necesita liberar a partir de los alimentos, así como las contribuciones que éstos proveen a la formación o al reemplazo de tejidos (masa muscular, huesos, epidermis, etc.) o a la generación, de sustancias esenciales para determinadas funciones fisiológicas, se obtienen a partir de cuatro componentes básicas: carbohidratos, proteínas, lípidos o grasas y micronutrientes (vitaminas, sales minerales, etc.), las que se encuentran disponibles por intermedio de vegetales o animales, como granos de cereales y legumbres, raíces y tubérculos, frutos y hortalizas, carnes y pescados, leche y lácteos, miel, huevos. Estos productos contienen los alimentos básicos en muy diferentes proporciones, sumados, además, a partes que el organismo humano ingiere pero cuyo contenido energético no es capaz de aprovechar (hidratos de carbono como la celulosa y la lignina) y a una cantidad variable de agua que no interviene en los mencionados procesos y que puede ser modificada según las

transformaciones a las cuales los productos básicos son sometidos desde la forma natural. En sus formas naturales, o “frescas”, los productos contienen, entonces, por unidad de masa proporciones muy distintas de agua, hidratos de carbono aprovechables, proteínas, lípidos y micro nutrientes. Esto hace que, por ejemplo, su contenido energético específico sea muy variable. Si consideramos productos “frescos”, en general el contenido energético específico aprovechable es mucho más alto en los de origen animal que en los de origen vegetal.

Desde el punto de vista de las formas de producción y de las tecnologías desarrolladas corresponde distinguir netamente dos períodos: el cazador-recolector o forrajero, y el agrícola. Si bien está claro que la tecnología de interés actual se vincula con el breve período post-agrícola, el período cazador-recolector tiene un gran interés antropológico porque virtualmente abarca la totalidad de la evolución de las especies humanas y por eso hemos decidido dedicarle el Capítulo 4 de este texto.. De todas formas sería errado pensar que durante este extenso período no se produjeron desarrollos tecnológicos relacionados con el acceso a los alimentos y con su conservación y almacenaje, algunos de los cuales perduran en la actualidad. Estos desarrollos no serán descriptos con mucho detalle, aunque se harán algunas referencias a ellos en los Capítulos 3 y 4. Damos a continuación algunos ejemplos. Los artefactos para caza y pesca fueron notablemente enriquecidos, llegándose hasta dispositivos de lanzamiento bastante complejos. Se desarrollaron y aplicaron varias técnicas de conservación, por ejemplo secado, ahumado y por frío (enterramiento en suelos con hielo, o “permafrost”). Se mejoraron canastas y recipientes, hasta llegar a la cerámica alrededor de 25 kAP. También, como se verá en el Capítulo 7, se mejoraron técnicas para encender y conservar el fuego.



Figura 1.4. Terrazas de cultivo de arroz en el sur de China, Provincia Yunnan

La aparición de la agricultura, una innovación por sí misma, originó una multitud de innovaciones, que se describirán con cierto detalle en los Capítulos 5 y 6. En sentido temporal seguramente en una primera y extensa etapa se aportaron mejoras tendientes a obtener mayores rindes por unidad de área explotada (aclaramos desde ahora que el adjetivo “explotada” no debe ser confundido con “sembrada”) mediante tecnologías tales control de flujos de agua, riego (las Figura 1.4 y 1.5 muestran respectivamente terrazas en arrozales chinos y en la región andina, donde se los llama andenes), uso de abonos y rotación de cultivos para acelerar la recuperación de los suelos, selección y

mejoramiento por vía natural de las variedades. Durante mucho tiempo, en cambio, el rendimiento laboral, es decir el rendimiento por mano de obra ocupada, no varió sustantivamente y fue bajo, en el sentido que una muy alta fracción de una población, entre las dos terceras partes y las tres cuartas partes, debía dedicarse a tareas agrícolas para producir los alimentos necesarios para sí misma y para una minoría dedicada a otras actividades. Es decir, durante mucho tiempo, la agricultura fue una actividad caracterizada por el uso intensivo de mano de obra. A esta etapa se la puede denominar agricultura campesina. Pero, aproximadamente a partir de un siglo después del comienzo de la Era Industrial (por ejemplo alrededor del año 1860 en Inglaterra), se genera progresivamente un acentuado incremento del rendimiento por unidad de mano de obra ocupada. Este incremento se debe a la introducción de maquinarias específicamente diseñadas para las tareas agrícolas, pero también al efecto indirecto de la motorización del transporte, a la introducción de nuevas técnicas de conservación y a la intensificación en el uso de fertilizantes hecho posible por la gran disponibilidad de energía exógena. Finalmente, a mediados del siglo XX aparece la posibilidad de conformar en forma artificial variedades particularmente adecuadas tanto por rendimiento como por resistencia a factores ambientales físicos y biológicos. Estos son los caracteres de la agricultura industrializada: mecanización, bajo empleo de mano de obra, manipulación cada vez más acentuada del ambiente, incluyendo la de las especies directa o indirectamente vinculadas. Sin embargo debe aclararse que la agricultura campesina subsiste incluso en los países industrializados, aunque limitada en éstos al sector hortofrutícola.

Es un tema de debate hasta que punto el organismo humano, genéticamente adaptado durante centenares de miles (quizás millones) de años a una dieta carnívora, ha asimilado en un periodo de pocos miles de años el cambio de dieta consiguiente a la aparición y difusión de la agricultura. El cambio no se limita a la mayor proporción en la dieta de hidratos de carbono, sino también al consumo en gran escala de productos disponibles gracias a la domesticación de animales, entre ellos la leche de especies herbívoras y sus derivados. Que este cambio se encuentre todavía en curso lo sugeriría, por ejemplo, la distinta tolerancia a la lactosa existente en diferentes poblaciones y en individuos dentro de poblaciones. La aparición y expansión de la agricultura significó, en los periodos iniciales, y para los pueblos que accedieron a ella, pasar de la diversidad de alimentos con preponderancia de productos cárnicos a una dieta con mayor participación de productos vegetales; ello sin desconocer que durante los periodos de pasaje de cazadores-recolectores a ganaderos-agrícolas los grupos humanos combinaran ambas actividades. Ahora bien, son muchas las evidencias sobre la importancia de la carne en la dieta humana prehistórica. Más aun, según se infiere de estudios comparados entre el hombre moderno y primates, el consumo de productos cárnicos se relaciona con la evolución de determinadas características somáticas como tamaño del cerebro, aparato digestivo y dentadura. A partir de unos 10 kAP, es posible hallar, en diferentes sitios, evidencias directas (remanentes de vegetales domesticados) e indirectas (herramientas y útiles para la producción y el procesamiento de alimentos vegetales) del creciente uso de productos vegetales en la dieta humana. De acuerdo con diferentes autores, estas evidencias se asocian con un deterioro de la salud debido tanto a la alimentación en sí misma como a la urbanización, el aumento de la población y el sedentarismo.

La agricultura no sólo constituyó un cambio muy fuerte en las tecnologías para el acceso a los alimentos. También trajo consigo la necesidad de nuevas formas de organización

social, en primer lugar porque las comunidades se hicieron más grandes que las de cazadores-recolectores y se agruparon regionalmente, pero también porque hubo que acudir a problemas relacionados con la previsión y mitigación de nuevos tipos de riesgos, con la separación entre zonas de producción y de consumo y con nuevos problemas de salud.



Figura 1.5. Terrazas de cultivo (o andenes) en la zona de Cuzco-Andes Sudamericanos

Sin duda, la aparición de la agricultura acentuó la interrelación entre las tecnologías de los alimentos y las de la generación de energía exógena. Interacciones entre ambas áreas tecnológicas existieron desde mucho antes, basta pensar en la cocción, que redujo los riesgos en el consumo de alimentos, el secado y el ahumado para mejorar la conservación. Pero con la agricultura las interacciones se reforzaron; por ejemplo, problemas como el transporte y la conservación de alimentos cambiaron de escala. Tampoco faltan aspectos de competición, el más inquietante hoy día es el uso de la biomasa fresca para producir combustibles como el etanol o el biodiesel, en oposición al uso de la biomasa fresca como alimento.

En resumen a partir de la aparición de las culturas agrícolas y los concomitantes incrementos demográficos, los desarrollos tecnológicos en el área de los alimentos fueron impulsados por una serie de factores entre los cuales se pueden mencionar:

- la necesidad de atender a demandas muchas veces rápidamente crecientes, lo cual actualmente sólo puede lograrse mediante la intensificación
- la necesidad de facilitar el transporte y la conservación
- mejoras en la sanidad, reducción de efectos negativos sobre la salud humana
- la toma de conciencia del impacto ambiental de la producción de alimentos y de sus proyecciones futuras
- la toma de conciencia de la necesidad de reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción respecto de la variabilidad climática.

Los dos últimos factores merecen un comentario especial. El uso agrícola de una porción importante del territorio implica modificar, a veces profundamente e irreversiblemente (al menos en el plazo de algunas vidas humanas) la composición y cobertura del suelo, la escorrentía, el balance de radiación, y también afecta a los

acuíferos subyacentes, a las aguas cercanas y a la atmósfera debido a la emisión o retención de gases. Algunos o todos estos aspectos pueden contribuir a afectar la estabilidad climática del Holoceno, de la cual se carece todavía de una explicación convincente, pero que ha sido esencial para el propio desarrollo de la agricultura. Por otra parte esta estabilidad podría cesar en forma natural, y, aún sin conjeturar un regreso a la enorme variabilidad pre-holocénica, cambios relativamente modestos tendrían un efecto potencialmente devastador sobre un sistema nacido y desarrollado en un período de estabilidad sin precedentes en los últimos centenares de miles de años. Esta perspectiva es preocupante porque las características muy especiales del Holoceno han llevado a privilegiar el volumen de producción por sobre la diversidad de los productos y la adaptabilidad de éstos a las características naturales de una región.

5.1. El empleo de energía exógena por parte de los seres humanos

Tal vez pueda afirmarse que uno, y no el menos importante, de los caracteres distintivos de las especies humanas, es la utilización de energía exógena, es decir, no originada en el propio organismo. Desde épocas muy remotas (aproximadamente 1 MAP) la especie *Homo erectus* recurrió a la quema de leña seca, arbustos, pasto y bosta para calentamiento local de ambientes, cocción de alimentos e iluminación. En la Figura 1.6 se intenta mostrar cual debió ser el efecto de una hoguera en el interior de una cueva que pudo ser un refugio de nuestros ancestros.

Desde épocas menos remotas, aunque siempre antiguas, las comunidades humanas reemplazaron al menos en parte el empleo de energía muscular propia mediante energía mecánica exógena para transporte de individuos y de objetos, desplazamiento o elevación de materiales, molido o triturado y otras necesidades, gracias al uso de animales domesticados o de dispositivos capaces de aprovechar la energía del viento o de corrientes de agua. En la Figura 1.7 se muestra un transporte por una senda serrana realizado mediante una recua de mulas.



Figura 1.6. Fogata en el interior de una caverna de la Pampa Argentina

Durante mucho tiempo existió una neta separación entre las fuentes de energía térmica (o sea los combustibles) y las de energía mecánica, y dado que esta última no estaba disponible siempre y en todo sitio, su utilización fue limitada, como se verá en el Capítulo 8. Pero existe documentación que demuestra que ya hace más de 2000 años

la posibilidad de obtener energía mecánica a partir de la expansión del vapor de agua en ebullición, en definitiva a partir de una fuente de energía térmica que calienta el agua, era conocida y también usada, si bien moderadamente. Por ejemplo, un notable inventor, Heron de Alejandría, fabricó un dispositivo que producía la rotación de un eje mediante una primitiva turbina de vapor. Su invención tuvo sin embargo, por las razones que luego se comprenderán, un empleo muy limitado: sólo sirvió para abrir y cerrar las pesadas puertas de un templo y luego cayó en un casi completo olvido. Hubo que esperar unos 1800 años para que el motor perfeccionado por Watt demostrara las enormes posibilidades que abre la transformación de energía térmica en mecánica, transformación que dio un impulso decisivo a la Era Industrial. De hecho, la capacidad de obtener energía mecánica a partir de la quema de combustibles en gran escala y en una gran variedad de sitios, hasta a bordo de vehículos, cambió la estructura de las comunidades humanas, explicando la enorme variación reciente de la relación entre potencia exógena y potencia endógena por individuo antes mencionada. Hoy se habla de fuentes de energía exógena, o, simplemente, de fuentes de energía, sin hacer una distinción de principio entre energía térmica y mecánica. Así, por fuentes primarias de energía se entienden compuestos al alcance del hombre que, sometidos a sencillos procesos (por ejemplo, secado, decantación), liberan energía a través de la combustión (reacción química rápida con el oxígeno del aire) o, mediante procesos más complejos, a través de reacciones nucleares. Pero, bajo la misma denominación se incluyen formas de energía mecánica involucradas en gran escala en fenómenos naturales del entorno humano, que, en parte, pueden ser utilizadas por el hombre mediante adecuados artificios.

Las fuentes primarias básicas son la radiación proveniente del Sol, la biomasa en variadas formas (de origen reciente o fósil, afectada en este caso por profundos procesos metamórficos), la energía mecánica que adquieren en forma natural masas de agua y de aire, la energía geotérmica, debida esencialmente a la presencia en el interior de la Tierra de sustancias radioactivas, y la energía nuclear liberada en ciertas reacciones nucleares que se producen en gran escala en dispositivos bastante complejos diseñados al efecto (reactores nucleares).

Con la sola excepción de la energía nuclear, y con el agregado de la energía mecánica proporcionada por seres vivientes, que trataremos aquí sólo desde el punto de vista del interés histórico, estas mismas fuentes de energía exógena fueron utilizadas por el hombre desde remotas antigüedades. Sin embargo, la tecnología vinculada con la energía exógena se ha transformado grandemente.



Figura 1.7. Transporte por energía animal (recua de mulas).

Los principales factores que han impulsado las transformaciones han sido:

- el crecimiento de la cantidad total de energía que la humanidad requiere
- la diferenciación de los destinos que el hombre ha dado y da a la energía
- la necesidad de transportar la energía y de distribuirla
- la generación de energía mecánica a bordo de vehículos para propulsarlos
- la toma de conciencia de que la disponibilidad de varias fuentes tradicionales es limitada
- la toma de conciencia de la necesidad de reducir en lo posible los impactos negativos en el ambiente derivados de la producción y empleo de energía.

Estos factores han generado cambios sustanciales en la forma de explotar las fuentes y en los tratamientos de los combustibles previos a su empleo. Además, han impulsado transformaciones de una forma de energía a otra. La principal, de enorme impacto en el mundo contemporáneo, ha sido la transformación de una fracción muy significativa (en algunos casos prácticamente la totalidad) de la energía de fuentes primarias en energía eléctrica, una forma de energía que no se puede extraer directamente de la naturaleza (si bien está presente en la atmósfera terrestre) y que, por lo tanto, debe ser generada artificialmente. La energía eléctrica es típicamente una forma de energía “secundaria”, o resultante de generación secundaria. En la Figura 1.8 se muestra una planta eólica, que produce energía eléctrica a partir de la energía cinética del aire en movimiento (viento) y en la Figura 1.9 una planta para producir energía eléctrica a partir de energía nuclear. Hemos elegido una plantas eólica y una planta nuclear porque, como se verá en el Capítulo 10, es muy probable que en un futuro bastante cercano la mayor parte de la energía que se consumirá será energía eléctrica y será producida por plantas de estos tipos, aunque, en el caso de la energía nuclear, más avanzadas que la mayoría de las actualmente en uso.

Un combustible “secundario” que despierta creciente interés básicamente por razones ambientales, pero que hasta el momento tiene uso mínimo, es el hidrógeno libre (H_2). Al estado libre este gas combustible es virtualmente inexistente en la tropósfera, pero puede ser producido por hidrólisis del agua o por disociación de otros compuestos naturales.

Debe tenerse en claro que la transformación de energía primaria en una forma secundaria no aporta nueva energía. Por el contrario, en términos de energía la transformación implica necesariamente una pérdida (porque la eficiencia de transformación es siempre algo, o bastante, menor que la unidad). No obstante, una forma secundaria puede presentar ventajas respecto de las primarias que la originan, que justifican la pérdida debida a la transformación. Esto es fácil de comprender para el caso de la energía eléctrica. Menos claro es el caso del hidrógeno.



Figura 1.8. Moderna planta de turbinas eólicas en Andalucía, España



Figura 1.9. Planta nucleoelectrónica de Embalse de Río Tercero, Argentina

Recientemente se ha puesto énfasis en la distinción entre fuentes renovables y no renovables. A primera vista la distinción parece clara: fuentes renovables son las que pueden ser regeneradas continuamente a una tasa igual o mayor que la tasa a que son consumidas. No renovables las que son consumidas a una tasa mayor que la de reproducción (que en ciertos casos podría ser nula). Pero, en realidad, el concepto necesita de algunas precisiones. Por ejemplo, si un cierto combustible (convencional o nuclear) existiera en cantidades tales que aseguraran la generación de energía por un tiempo comparable al de la existencia del sistema solar (algunos miles de millones de años), carecería de importancia si se renovara o no. Viceversa, si se hiciese uso de una fuente supuestamente renovable, como por ejemplo biomasa cultivada, la fuente dejaría de merecer ese calificativo si una excesiva producción alterara demasiado el suelo, produciendo por ejemplo su degradación hasta la desertificación. Otro ejemplo es la energía eólica, que, si bien es renovable, difícilmente pueda constituir por las razones que veremos, la fuente de energía predominante.

Tal vez sea preferible no poner demasiado el acento en esta distinción y menos aún en la que también se pretende introducir mediante la calificación "energías alternativas". Cada fuente de energía tiene su propia problemática, llena de preguntas aún sin respuesta. Muchas veces estas problemáticas se entrelazan entre sí y deben relacionarse con las modalidades y requerimientos del consumo.