

Estructura y función en los agrobiosistemas

PEDRO MONTSERRAT RECODER

Centro pirenaico de Biología experimental. C.S.I.C.

RESUMEN

El autor da unas ideas generales sobre funcionamiento de los agrobiosistemas, con flujo energético a través de mecanismos biológicos (homeostasis en comunidades naturales) que lo utilizan para mantener su estabilidad. La simplificación agronómica debe ser muy discriminada, actuando en celdas de una estructura compleja (mallas con setos y bosquetes cortavientos) que trabaja para estabilizar al conjunto.

Desde la Prehistoria el hombre actúa sobre diversos ecosistemas y tiende a simplificarlos: elimina fieras, forma rebaños, quema pasto duro y matorrales, labra, siembra, etc. Al sistema ecológico intervenido por el hombre y sus animales lo llamamos Agrobiosistema en 1961.

Las comunidades naturales tienden hacia una complejidad progresiva, aumenta la diversidad (más nichos ecológicos) y se complica la estructura comunitaria (estratos diversificados, troncos potentes, fibra en el pasto) tanto en vuelo como suelo. Todas las series evolutivas tienden hacia un estadio final estable, muy bien estructurado, rico en especies altamente especializadas y con la biomasa máxima compatible con las condiciones ambientales de cada lugar de la tierra. Por ahora basta fijar el concepto de que la complejidad estructural (con diversidad) proporciona las comunidades más estables, las llamadas «climax», etapa final de cada serie evolutiva.

Actualmente se observa una preocupación internacional por los problemas de conservación de la naturaleza para preservar las maravillas de equilibrio en comunidades clímax permanentes, muy bien estructuradas y capaces de soportar cambios climáticos algo fuertes sin apenas modificar su estructura comunitaria. Es imprescindible conocer en cada ambiente las fuerzas estabilizadoras actuando libremente. Las reservas integrales deben multiplicarse, pero sin prodigarse.

Paralelamente aparecen planes internacionales, como el MAB (3) (Hombre y Biosfera) de la UNESCO, que tratan de insertar al hombre en los ecosistemas naturales produciendo alteraciones mínimas (evitar erosiones, contaminaciones, etc.) y asegurando la estabilidad del conjunto.

La Agricultura tiende a simplificar las comunidades naturales (ecosistemas), reduciendo su estructura para poder dirigir mejor el flujo energético hacia producciones utilizables por el hombre. Una agricultura racional debe aprovechar las fuerzas naturales y dirigir las hacia etapas simplificadas, pero estables a lo largo del tiempo. No es éste el caso de la agricultura mediterránea tradicional (fuego-pastoreo, arado-erosión, finalmente calveros pedregosos sin suelo); conviene reaccionar a tiempo ante el aumento de población progresivo y la deteriorización del ambiente en el que se desarrolla nuestra cultura.

Ambientado el problema con su proyección internacional, que enlaza igualmente con el IBP, Programa Biológico Internacional (1), veamos algunos aspectos de la agricultura teórica que vislumbramos, una especie de Ecología aplicada, pensando fundamentalmente en la explotación de pastos en las condiciones españolas más generales.

EL SISTEMA AGROPECUARIO

Antecedentes. En 1968 ya expusimos brevemente algunos aspectos de la agronomía del pasto. Desde 1961 (1963, 1964, 1965, 1966 y 1968/69) hemos dado algunas ideas sobre la *Ecología de Agrobiosistemas*, procurando incorporar los conceptos utilizados corrientemente por los ecólogos funcionales (ODUM, MARGALEF, etc.). Un trabajo reciente (1968) trata del problema de los pastos pirenaicos y conservación de la ganadería pirenaica.

La mayor parte de pastos españoles se formaron en claros fortuitos de los bosques; los herbívoros frecuentaron dichas roturas forestales y en sus querencias evolucionaron unas plantas extraordinariamente adaptadas a ser explotadas, a ser rozadas periódicamente, tanto que si se dejan sin tocar «embastecen», es decir, pierden calidad, por aumento de fibra poco digestible. A la sombra del pasto fibroso aparecen pocos brotes nutritivos, baja la productividad ganadera y el pasto gana en estructura lo que pierde en productividad animal. En el suelo se acumula materia orgánica mal humificada (mantillo, tepón) y pierde en productividad lo que gana en estructura. El pasto debe ser explotado intensamente.

Desarrollamos las ideas anteriores en algunos trabajos mencionados, y muy especialmente en el que actualmente publica *Melhoramento*, de Elvas (Simposio en oct. 1967), sobre la *Vejez del pasto*. En las reuniones científicas de la S.E.E.P. de Oviedo (1969) y Jerez (1970) insistimos, señalando la preferencia que debe tener el aprovechamiento correcto sobre los abonados y otras mejoras técnicas. Conviene forzar algo el pastoreo si pretendemos aumentar la «finura» del pasto.

Nuestro ambiente ecológico favorece al bosque y a sus matorrales seriales; nuestras comunidades tienden hacia la complicación estructural, al pasto leñoso. Si pretendemos producir carne debemos simplificar los pastos al máximo, mientras sea compatible con la estabilidad de suelo y vue-

lo. Sólo en lugares llanos, con el suelo apropiado, es posible desarrollar una agricultura clásica, la del arado, que ha persistido hasta nuestros días, como símbolo de la mayor simplificación que podemos lograr.

Fuera de los cultivos labrados, la simplificación lograda por nuestros pastores clásicos, ahora envejecidos y faltos de ilusión, ha sido unas veces incompleta y otras brutal (fuego), pero fragmentaria. Conviene señalar la eficacia extraordinaria de la guadaña (máquina segadora) y del pastoreo rotacional bien planeado. Existen métodos para simplificar el pasto sin recurrir al fuego ni al arado; existe, ciertamente, una agricultura para tierras marginales que conviene desarrollar rápidamente.

Niveles tróficos y antrópicos. Los agrobiosistemas se caracterizan por los cuatro niveles clásicos del Ecosistema:

- a) *Productos primarios* por fotosíntesis (*pasto*).
- b) *Productores secundarios* (herbívoros).
- c) *Carnívoros* (sustituidos por el hombre y su industria).
- d) *Destruyentes* de restos orgánicos mineralizadores.

El último nivel resulta muy importante, y es el que admite menor simplificación. El nivel c) lo dividimos en dos niveles antrópicos, *industrial* (industria pecuaria o granja) y *comercial*, que desplazan a los carnívoros (oso, lobo, etc.), que antiguamente depredaban a los rebaños de herbívoros. Son cinco los niveles del agrobiosistema.

El nivel superior o *comercial* determina la rentabilidad de todo el sistema y posibilita las técnicas. La técnica moderna es algo abstracta, se concreta en cada finca, en cada industria pecuaria; no todas las técnicas pueden aplicarse a un caso concreto, y la estructura de cada granja debe facilitar las esenciales.

Dejemos los niveles antrópicos, los que dependen de una estructura impuesta por el hombre (conocimientos científico-técnicos, capital, ganado, cuadras, instalaciones, maquinaria, cercas, setos, etc.) y veamos algunas peculiaridades del primer nivel, el del pasto que asimila energía solar y la transmite a los herbívoros.

Productividad primaria y estructura. Son muy pocos los pigmentos que pueden asimilar la energía solar y el más difundido es la clorofila A, acompañada de otros que facilitan dicha asimilación.

Tenemos, por lo tanto, una complicación estructural en los pigmentos asimiladores, en su organización (grana, cloroplasto, células verdes, parénquima asimilador, etc.), en la disposición de las hojas, en la formación de tejidos caulinares que levantan las hojas (colénquima, esclerénquima), en los que regulan la transpiración y absorción (cutículas, estomas, suber, ceras, raicillas, raíces, etc.). Sin unas estructuras esenciales que consumen energía no sería posible aprovechar la luz; la estructura toma energía, pero facilita un aprovechamiento óptimo de la luz incidente antes de que llegue al suelo. Todo tiene un límite, y si la planta crece demasiado, toda la energía deriva hacia producciones poco digestibles; ya llegamos a una estructura que dispersa energía y dificulta su llegada a los herbívoros.

Si de una planta concreta pasamos a una comunidad de pasto, con va-

rias gramíneas, leguminosas y otras hierbas (mucha diversidad), un descuido en el aprovechamiento determina el gasto de energía para mantener estructuras poco digestibles que impiden la formación de renuevo.

Nuestras pratenses evolucionaron bajo una presión de pastoreo enorme. Las mejores retoñaban fácilmente y se imponían; llegó, por lo tanto, una simplificación de la comunidad (p. ej., ray-grass y trébol blanco), que desplazó a las menos agresivas; la producción de carne por hectárea (sin cultivo ni abonado) alcanzó incrementos anuales de 200, 400 y hasta 600 Kg/ha. y año. Estiércol y orines, estimulantes de las dos pratenses indicadas, fueron el único abono, procedente en parte de otras zonas recorridas por el rebaño salvaje en varias épocas del año.

Acabamos de citar un ejemplo de comunidad pratense natural, creada por manadas de herbívoros en nuestros bosques templados, muy simplificada y productiva, pero situada en la malla estructural de un bosque frondoso más o menos alterado por las actividades de dicho rebaño. La fertilidad deriva del bosque hacia el pasto intercalado, las diferencias estructurales se acentúan y al final llegamos a un pasto raso y denso, formado por dos especies muy adaptadas a ser rozadas y pisadas, pero muy exigentes en fertilidad edáfica. La estabilidad del pasto productivo depende fundamentalmente de su inserción en una malla estructural más compleja, formada por el bosque y sus etapas seriales.

La mejora de pastos pretende producir pasto nutritivo, con poca fibra, mucho renuevo y tierno, con área foliar (LAI) máxima a pocos centímetros del suelo. Este pasto productivo requiere unas condiciones ambientales óptimas, como las que se dan entre bosques de tipo templado con matiz oceánico (bosque europeo-atlántico) y resulta imposible encontrar superficies grandes aptas para mantenerlo estable. Es conocido el ejemplo de los fracasos en Nueva Zelanda, en laderas inclinadas sembradas con las dos pratenses (trébol blanco y ray-grass) más adaptadas al sobrepastoreo; la simplificación estructural requerida impide mantener el pasto y evitar la erosión; el clima admite superficies más o menos amplias con dicho pasto, pero dentro de una trama formada por comunidades más complejas y resistentes a la erosión.

Acabamos de ver algunas peculiaridades de la productividad pratense, relacionadas con la estructura comunitaria y su estabilidad. Insistiremos sobre casos concretos tomados en España.

Hombre y Biosfera. Nuestro compatriota R. MARGALEF (1970) en la *IV Asamblea General del Programa Biológico Internacional (IBP)*, celebrada en Roma (sep.-oct. 1970) y más concretamente en el simposio sobre *Bases ecológicas de la ordenación ambiental*, encargado de dar las conclusiones, esboza una teoría ecológica orientadora de todos los métodos de explotación humana. Establece el paralelismo entre comunidades naturales aptas para ser explotadas (p. ej., plancton-pacto) y señala su inserción en una trama estructural más compleja que permite su estabilidad.

Las ideas de MARGALEF (4), relacionadas con las anteriormente expuestas de simplificación estructural-productividad, comunidades explotadoras-explotadas, estructura-estabilidad, etc., permiten imaginar lo que será la *Agronomía ecológica* que vislumbramos. El hombre debe utilizar de ma-

nera óptima los ecosistemas de que dispone, desplazando a los animales y procurando mantener la estabilidad del conjunto.

En diciembre de 1970, con ocasión del «Coloquio sobre Protección de la naturaleza», celebrado en Madrid, presentamos una comunicación sobre «Las reservas zonales», con zona central conservada a ultranza, zonas protectoras periféricas, bosque ordenado y finalmente bosque o pastos sobreexplotados, abonados, en la periferia. Sólo falta añadir que las zonas abonadas deben entrar en los núcleos mejores de la malla, protegidos por una estructura más o menos forestal intercalada y situada en los lugares donde la erosión es posible.

La acción antropozoógena no puede ser indiscriminada. Es imposible simplificar por igual todas las comunidades vegetales de la tierra; unas admiten simplificaciones drásticas; otras, las menos, intensas, y finalmente, unas pocas, situadas en ambientes inhóspitos, simplificaciones ligerísimas, como el pastoreo trashumante o nómada. Recuerden lo que ocurrió a Rusia al pretender labrar el Azerbaidjan-Kazajastan: se quedaron sin trigo y sin pastos.

Al pensar en dichos equilibrios naturales, en ambientes que no admiten la agricultura tradicional, y considerando que la presión humana aumentará progresivamente, todos los países intentarán organizarse y ambientar a sus científicos para que propongan soluciones idóneas a cada caso. Esto y evitar la contaminación son precisamente los objetivos propuestos por la UNESCO en su programa MAB, «Hombre y Biosfera».

AGRONOMÍA EXTENSIVA

En España tenemos el problema de las tierras marginales, las que no admiten la simplificación drástica del arado. Muchas veces la tradición, con sus rutinas, que tienen con frecuencia base ecológica, ha destinado al pastoreo dichos terrenos marginales, los que no admiten el uso reiterado del arado. Observamos que sólo labran para limpiar de malas hierbas, como mal menor y para suplir el descolinado a mano, tan costoso.

Actualmente ya se vislumbra la explicación científica que permitirá establecer unas leyes generales orientadoras de actuación técnica. A la simplificación progresiva del pasto que aumenta la producción ganadera conviene añadir el estudio de unas mallas estructurales óptimas, las que darán cohesión al conjunto (estabilidad) y permitirán explotar a fondo las posibilidades de algunos núcleos favorables de la malla.

Una visita detenida a nuestras dehesas arboladas del Oeste español permite percatarse de la importancia extraordinaria del tema. Son pocos los pastos extensos y productivos: unas majadas producen mucho, otros pastos normales deben labrarse para mantenerlos limpios de maleza, finalmente vemos suelos erosionados y casi improductivos. En el pasto normal predomina la encina carrasca (*Quercus rotundifolia*), que bombea agua y bases del subsuelo, depositando hojarasca correctora de las principales deficiencias edáficas. Existe, por lo tanto, una malla, con árboles diseminados, pasto unos años y labor intercalada cada cinco-diez años. Son varias las tramas, y en cada unidad vemos un sucesión en el tiempo. Este equilibrio, logrado a lo largo de milenios, con ganadería también com-

pleja (ganado lanar, bovino, equino, algunas veces cabrío y de cerda), asegura una productividad moderada y la estabilidad. No podemos destruir dicho equilibrio milenario, debemos perfeccionarlo *estudiando las equivalencias*.

Ya es copiosa la experiencia que se posee sobre el descuaje de carrascas y laboreo continuado; actualmente aún se suma el intento de convertir en huerta unos terrenos poco permeables y escasos en bases. Se impone el estudio profundo de todo el sistema, con sus mallas de varios órdenes (en el espacio y el tiempo), dando preferencia al pastoreo directo, que facilita alimento a los *descomponedores del suelo* (nivel *d* del ecosistema intervenido por el hombre).

Característica decisiva de la agronomía extensiva será siempre la diversidad estructural, con comunidades intercaladas y distinta estructura de las mismas. En unas partes podremos sembrar forrajeras, correctoras de la estacionalidad del pasto; en otras, forzar la evolución hacia majadas estables y productivas; en otras, un pasto estacional productivo, prados segados por lo menos una vez al año, pastos efímeros o de temporada corta, setos protectores siguiendo las curvas de nivel, algunas veces con árboles o bosquetes cortavientos. La estructura forestal superpuesta al pasto es utilísima a la industria pecuaria y permite dirigir al ganado, reduciendo el trabajo de los pastores; además provoca turbulencias del aire (aumento de productividad), frena el viento, aumenta el rocío matutino y cobija al ganado.

Dinamismo en la dehesa arbolada. El suelo. Veamos con mayor detalle las características de nuestras dehesas en ambiente difícil, como el de gran parte de Salamanca, Extremadura, Huelva, etc.

El verdadero problema, lo que frena la agronomía normal de nuestras dehesas, radica en sus características edáficas. Acaso con el tiempo, corregida paulatinamente la fertilidad edáfica, pueda pensarse en una agronomía más intensiva; nuestra experiencia parece indicar que durante muchos años, acaso siglos, convendrá mantener el pastoreo, aunque en condiciones muy distintas a las actuales.

Ante todo, cabe señalar las diferencias edáficas fundamentales, que arrancan de la naturaleza de la roca madre. Predominan los granitos y cuarcitas pobres en bases, son suelos faltos de cal y con tendencia hacia el encharcamiento invernal. La mala permeabilidad, acentuada por el laboreo y destrucción de materia orgánica, impide el uso continuado del arado. En algunas partes, y sobre pizarras, formadoras de arcilla excelente bajo el bosque primitivo, se formaron suelos de cierta calidad, pero los encontramos decapitados, esqueléticos en La Serena. El suelo forestal se formó bajo encina carrasca y conviene encontrar los *equivalentes* de dicho árbol.

En muchas dehesas persiste la encina y continúa amortiguado el proceso edificador del suelo; el aporte de hojarasca debe suplirse por una cantidad equivalente de estiércol proporcionado por el ganado. Sin dicho aporte de materia orgánica disminuyen las lombrices formadoras de agregados, que proporcionan al suelo una estructura estable. Calculamos que dichos agregados estables persisten de dos a cuatro años; deben formarse continuamente y no puede cesar el aporte de materia orgánica, fuente de bacterias edáficas, y con ellas, de lombrices. El arado airea el suelo y

destruye humus, los agregados duran menos y dejan de formarse; no es difícil imaginar tanto el resultado desastroso para la permeabilidad edáfica como sobre la escasa capacidad de retención de alimentos, agua y aire del suelo. La aireación edáfica fuerte provocada por el arado determina su ruina, el encharcamiento y la escasa productividad del suelo.

Sin recurrir a experimentos cuidadosos será difícil predecir la cantidad de estiércol equivalente a las hojas de encina carrasca o de quejigos; es probable que una décima parte de su cantidad estimule suficientemente a la fauna edáfica y a las bacterias. Conviene pensar que el estiércol es materia orgánica medio humificada, cultivo excelente para las bacterias consumidas por las lombrices. Los excrementos de lombriz son como unas pelotitas de suelo rodeadas de una película muy estable (mucílago y humus excelente) en condiciones de aireación moderada.

Es obvio que aclarado el encinar interesa estercolar suficientemente hasta conseguir el equivalente a las hojas que dejan de caer sobre el suelo. No es problema insoluble para los especialistas. En definitiva, menos árboles por hectárea determinan el aumento del ganado, que debe suplir dicho aporte de materia orgánica. El arado retrasa el proceso o lo impide.

Queda un aspecto esencial, que debe tenerse muy en cuenta. Las plantas del pasto producen raíces; algunas mueren por rozadura de su tallo, pero se producen otras adventicias, que exploran todo el suelo y muy especialmente la parte superficial (2-6 cm). Las raíces muertas, junto con restos de hojas, estimulan las lombrices y pueden suplir en parte el aporte de hojarasca por el árbol. El abonado, especialmente con superfosfato en suelos no muy ácidos, estimula las leguminosas, que fijan nitrógeno; con mayor cantidad de nitrógeno, las gramíneas dan más raíces y el sistema se revitaliza, pudiéndose alcanzar a la larga un suelo aún mejor que los suelos forestales originarios.

Vean cómo aplicando superfosfato, con elementos que suelen estar en mínimo (cuellos de botella), podemos incrementar la producción de pasto, la ganadera y el aporte de alimento a las bacterias y lombrices del suelo. Tanto el fósforo como muchas veces los sulfatos suelen ser limitantes en los suelos de nuestras dehesas. El aporte de calcio no es despreciable en suelos donde muchas veces otros metales (Mg y hasta Mn) entran en mayor facilidad en la planta. Lo importante es que sin labrar podemos mejorar progresivamente la productividad de unos pastos extensivos arbolados y poco aptos para el arado.

Ensayos para establecer las mallas adecuadas. Imaginemos un carrascal clímax, estable y con estructura máxima (no existe, y su persistencia sería inestimable), con suelo maduro, desarrollado y con actividad de lombrices intensa. El agua de lluvia se aprovecha toda; las copas frenan la caída pluvial, dirigen el agua hacia el tronco y borde de copas, hinchan las esponjas de musgo y corren mansamente sin producir erosión. Los elementos químicos del suelo circulan hacia las hojas y bellotas, cayendo en superficie, con lo que contrarrestan el lavado edáfico producido por la lluvia. Todos los elementos de la fertilidad circulan, reciclan y se aprovechan íntegramente.

El sistema funcionaba, era estable, pero a condición de sostener una estructura adecuada. Aclareo, descuaje y más aún el laboreo determinaron

la pérdida de estabilidad, erosión del suelo y la ruina del sistema. Si actualmente dispusiéramos de unos encinares vetustos y estables, la introducción del ganado debería ser paulatina, aclarando más las vallonadas poco pendientes y dejando el bosque en las lomas escarpadas; en lo intermedio, unas mallas más o menos densas de dehesa arbolada, con ganado suficiente para compensar el aporte de hojarasca. El abonado (superfosfatos o escorias más yeso, fundamentalmente) permitiría una intervención mayor, con malla menos densa de encina carrasca; la potasa se restituye íntegramente, el animal no puede acumularla en su cuerpo y el nitrógeno lo asimilan del aire las leguminosas del pasto. El sistema, con las mallas estructurales menos densas, puede seguir funcionando indefinidamente y aumentar su producción ganadera; no es preciso labrar más que suelos profundos adecuados, el resto admite una agricultura sin arado muy eficaz.

El problema actual estriba en que los suelos degradados deben reconstruirse; la estructura edáfica es precaria y no admite una productividad elevada. No resulta económico emplear cantidades grandes de abonos químicos porque el problema principal está en la estructura edáfica, con mala aireación y tendencia al encharcamiento. La reconstrucción debe ser paulatina y la encina que persiste debe contribuir con sus cualidades inestimables de especie arbórea edificadora del suelo. Otra cosa sería plantar encinas donde han desaparecido, pero en el plano teórico aún cabría considerar dicha posibilidad.

Las mallas de árboles diseminados, con mayor o menor densidad, según la pendiente, matorrales en crestones improductivos y en lindes de los pastaderos, formando boquetes o setos siguiendo las curvas de nivel y más o menos próximos según la pendiente proporcionarían un sistema algo complejo edificador del suelo y poco oneroso. La actividad del practicultor debería concentrarse en los pastos y suelos más aptos para la mejora rápida, forzando su evolución hacia majadal y cultivando únicamente los lugares apropiados, con prado temporal de trébol subterráneo bien abonado y unos cultivos forrajeros intercalados en su malla en el tiempo. El concepto de malla estructural edificadora no es rígido, y con algunos ensayos será posible determinar la más adecuada para cada tipo de suelo y explotación requerida.

Nos referimos a tramas con elementos que a su vez forman mallas. En otras palabras, ensayar la trama estructural óptima que permite intervenir intensamente en los nudos más apropiados de la misma. En unas partes, laboreo (simplificación extrema); en otras, pasto alto para segar, o sea, con mayor estructura; en otras, majadal, pastos de temporada, pastos productores de grana para la estivada, pastos poco productivos, y finalmente, setos, bosquetes y hasta bosques destinados a proteger el conjunto. La especialización del pasto sigue al aprovechamiento ordenado, la simplificación es discriminada y el conjunto muy estable.

Trama superpuesta a las mallas de vegetación. No tratamos de obtener un parque variado y estable, nos interesa fundamentalmente forzar la producción, manteniendo la estabilidad, y en muchos casos (por desgracia los más frecuentes), forzar la evolución del suelo para que admita un aprovechamiento más intenso. La economía determina que la evolución sea lenta, progresiva, edificadora, en el seno de una estructura protectora.

Acabamos de trazar los rasgos esenciales que debe reunir cualquier malla de estructura industrial, de la granja o empresa agropecuaria. Se trata de intensificar los aprovechamientos en las partes más idóneas, aprovechando las mallas el poder edificador de las comunidades más naturales, adaptadas multiseccionalmente al ambiente. Entre las partes más explotadas y el bosque casi natural existe toda una gama de actuaciones posibles, cada vez menos intensas, pero eficaces y económicas. Para forzar la producción interesan comunidades adaptadas a la explotación intensa, el pasto de majada o los cultivos forrajeros, según podamos alcanzar el extremo de simplificación agronómica. Las partes más intervenidas deben protegerse (pasto alto y basto, matorral, setos, bosquesillos cortaviento, etc.), formando una trama que facilite la explotación del conjunto.

Según los ambientes (geofísico, cultural, comercial, industrial), las mallas de estructura vegetal deben modificarse para facilitar el movimiento del ganado y asegurar su alimentación correcta. En ambientes difíciles interesarán mallas conservadoras, con grandes espacios de vegetación seminatural y sólo pequeñas superficies explotadas intensamente.

En una dehesa salmantina, con encinas o quejigos, pasto basto, majadas tradicionales, matorral-pasto y algunos cultivos pobres, se iniciará el desbroce en zonas homogéneas, dejando los bordes protectores, sembrando pasto apropiado en las áreas cultivadas tradicionalmente; las partes ventosas y erosionadas, con poco suelo, es preferible destinarlas a las fuerzas edificadoras naturales, pero las intercaladas en áreas pastadas normalmente pueden forzarse por medio del ganado encerrado en las mismas y alimentado «in situ» con heno y pienso. Interesa lograr zonas relativamente amplias y homogéneas, intensificando la explotación de manera muy discriminada.

Vean cómo interesa conocer los *equivalentes*, los factores que pueden suplir una acción natural equilibradora de los sistemas espontáneos, en nuestro caso de la caída foliar del bosque; si queremos forzar la evolución edáfica en enclaves pobres, el estiércol proporcionado por los mismos animales será muy eficaz y económico. Interesa que dentro de la trama obtengamos superficies homogéneas, de fácil explotación y especializadas progresivamente. Las majadas admiten ganado casi siempre, sin gran menoscabo de su productividad, son como el comodín de la explotación; el pasto sembrado requiere descansos prolongados, en especial si se aprovecha semillado («grana») en verano. Los cultivos forrajeros se destinan a la conservación. Los pastos bastos deben aprovecharse hasta arrasarlos completamente y dejar después unos períodos largos de recuperación; cada año interesa acortar los descansos, pero de manera progresiva; al final, muchos pasarán a majada productiva o podrán roturarse para siembras.

Las mallas industriales aprovechan, por lo tanto, las naturales impuestas por topografía y clima y las diversifican para facilitar los aprovechamientos, reduciendo la mano de obra (pastores) al máximo. El nivel comercial impone limitaciones a la industria, determinando las épocas de venta, las variaciones de carga a lo largo del año y el método a seguir para que sus necesidades alimentarias puedan cubrirse con un gasto mínimo.

En las pardinas prepirenaicas aragonesas o de ambientes similares de la Cordillera Ibérica, con majadas productivas de hierba borreguera (*Koeleria vallesiana*) y festucas (*F. ovina*, *F. rubra*, *F. hystrix*, etc.), más le-

guminosas muy adaptadas al ambiente, pastos bastos, lastonares (*Brachypodium phoenicoides*, *Agropyron* spp.) y quejigales más o menos claros, es posible establecer mallas estructurales muy eficaces y conservadoras, con cortavientos de carrasca (*Q. rotundifolia*), que precisamente se localizan en lugares pedregosos y ventosos. Setos (*Rosa*, *Rubus*, *Buxus*, *Rhamnus*, *Prunus*, *Crataegus*, *Berberis*, etc.) muy eficaces para cerrar superficies homogéneas; desbroces bien planeados, vallas provisionales y acaso estaquillas, favorecerán a los setos, que son muy naturales. En laderas pendientes el quejigal más o menos denso permite formar pastos adheridos de temporada, muy apropiados para la otoñada y fin de invierno; aun en invierno el ganado encuentra hoja de quejigo y apura la hierba, preparando el rebrote primaveral, que debe hacerse sobre un suelo raso, sin restos secos del año anterior.

Como en el Oeste español, conviene diversificar el ganado (aumentar la estructura) para obtener la estabilidad máxima de la trama y forzar la evolución de los pastos bastos hacia majadal. El vacuno basto, buen comedor de lastón (Hereford, Pirenaica, Soriana, Avileña, etc.), simplifica el pasto progresivamente sin provocar erosión en laderas; el vacuno resulta esencial si queremos explotar convenientemente al ganado lanar; las vacas o bueyes son máquinas desbrozadoras muy naturales que se contentan con poco y aún producen algo. Con vacuno y, mejor, equinos, es posible eliminar al fuego, procedimiento simplificador tradicional extraordinariamente peligroso. En la simplificación pueden intervenir máquinas desbrozadoras, muy eficaces, y su acción debe completarse con pases de ganado mayor.

Las mallas iniciales, con intervención poco intensa y concentrada en la parte tradicional agrícola, pero partes conservadas en la periferia, proporcionarán paulatinamente superficies cada vez mayores de pastos homogéneos, al principio aún basto y cada vez más fino. Aumentan las posibilidades de la explotación y paulatinamente deben modificarse las mallas, con aumento progresivo del ganado lanar, y estancamiento o desaparición del ganado mayor. En las fases constructoras de la malla definitiva, acaso convenga utilizar también ganado cabrío, no tan perjudicial como se dice si logramos insertarlo en tramas bien planeadas. En resumen, se tiende a la simplificación, pero paulatinamente; forzando a la naturaleza, pero sin romper los equilibrios naturales, en especial por lo que se refiere al suelo.

El cultivo tradicional, cerealista desde la época romana, debe pasar a esparceta y alfalfa, cultivos que abonados con superfosfato edifican el suelo y permiten intensificar el aprovechamiento forrajero, corrector estacional de las deficiencias del pasto. Rotaciones de alfalfa (o esparceta) con cereal-pienso, permitirán compensar los defectos de la trama de pasto-setobosque, más natural y conservadora. La industria impelida por el mercado, establece la trama óptima en cada caso.

El hombre debe obtener producciones agrícolas y ganaderas, pero en sistemas con estructura suficiente para que toleren la simplificación matizada que preconizamos. Los ambientes de cada finca son muy diversos y deben tratarse convenientemente si perseguimos la continuidad productiva.

Existe la malla con sucesión en el tiempo, caso de las rotaciones clásicas y de las artigas antiguas. Lo dicho ya permite imaginar las posibili-

dades que ofrecen. Edificamos (alfalfa, esparceta, trébol) para simplificar a continuación obteniendo producciones que de otra forma no serían posibles en el ambiente natural de la finca. Fase edificadora y fase explotadora que alternan en el tiempo.

Prioridades en la agronomía extensiva.—La técnica moderna tiende a esquematizar los problemas planteados, aislándolos de su entorno natural. Conviene realizar un esfuerzo de síntesis para conocer la complejidad de factores que intervienen en cada caso. Si pretendemos obtener producciones agropecuarias en ambientes difíciles, las consideraciones anteriores pasan a un primer plano y resultan fundamentales.

Agricultura y simplificación de comunidades naturales se confunden; agronomía es simplificación estructural para obtener unos productos muy específicos que se aprecian en el mercado. Para una agricultura extensiva resulta esencial el ganado, que permite actuar sobre los sistemas naturales sin romper su equilibrio.

Los ambientes, aun en fincas pequeñas, son diversos y nuestra acción debe ser matizada, apropiada para cada caso. La estabilidad del suelo resulta esencial y se consigue sin arado, sólo con el «equivalente» en materia orgánica que proporcionaban las hojas del árbol dominante. Las deyecciones del ganado y el abono químico pueden compensar y aun mejorar el efecto de la hojarasca caída anualmente; labrando, destruimos la estructura edáfica con peligro de erosión. Existen, por lo tanto, sistemas naturales con equilibrio precario; nuestros abuelos los abandonaron al pastoreo, pero el fuego aceleró la erosión.

Interesa, por lo tanto, desarrollar técnicas que permitan simplificar progresivamente los sistemas naturales, sin producir desequilibrios graves (fuego-arado) y forzando su evolución discriminada.

Las tramas estructurales, con superficies intercaladas simplificadas progresivamente, pero aprovechando las leyes naturales que dieron origen al pasto (querencias de ganado), permiten actuar sobre dichos sistemas precarios y obtener producciones cada año más valiosas. Vean cómo resulta fundamental planear bien las actuaciones, reservando bandas de vegetación poco alterada en las partes del sistema menos estables. Las fuerzas edificadoras naturales que tienden hacia el clímax permitirán unas bandas leñosas (o bosque) que favorecerán la estabilidad del pasto.

Admitida la prioridad de las fuerzas edificadoras naturales en ambientes difíciles, conviene destacar la simplificación producida por los herbívoros concentrados inteligentemente pocos días y separados por espacios más o menos largos. Las desbrozadoras pueden facilitar el pastoreo con ganado mayor que roza el rebrote, eliminando aliaga y otras matas infestantes del pasto. El ganado lanar es muy selectivo y no mejora el pasto basto.

Renovación periódica (sin dejar rehusos, si es posible) resulta esencial para crear un buen pasto. Después viene el abonado con estiércol que ya dan los animales desbrozadores, y más si les proporcionamos heno-pienso en comederos móviles, completado por el superfosfato, que acelera dicha evolución. Ordenado el pastoreo, con períodos de reposo cada vez más cortos, aumentan las pratenses del país más resistentes a rozas y pisoteo, las más productivas, las que dan renuevo denso, las de la «tasca» de nues-

tros montañoses. Una ordenación óptima determina la simplificación del pasto hasta límite apropiado para mantener su estabilidad.

En caso de duda, con pasto bien abonado, es preferible forzar algo los aprovechamientos sin dejar hierba seca que dificulte la formación de renuevo nutritivo. Con frecuencia, los pastos cortos suelen dar las mayores producciones ganaderas. No se pretende producir hierba, sino ganado. La estabilidad queda asegurada si hemos tenido la preocupación de establecer mallas adecuadas.

Si a pesar de actuar sobre superficies pequeñas, limitadas por setobosque, según curvas de nivel, aún persiste el peligro de erosión, conviene mantener la dehesa arbolada, cuyas copas frenan la caída del agua pluvial. Donde no sea posible el pasto adehesado, debe tenderse a un pasto alto, apropiado para siega primaveral y pastoreo otoñal-preprimaveral. Mayor estructura determina mayor estabilidad; es preferible sacrificar algo de producción si pretendemos conseguir la permanencia de todo el sistema. El riego eventual permitirá diversificar el mosaico de la finca, facilitando su explotación por siega; si el riego es fijo, ya dejamos el cultivo extensivo, pero en algunas fincas el riego facilita la explotación correcta de todo el mosaico.

Veán cómo la simplificación se consigue por partes; en unas, rápidamente, por cultivo normal y riego; en otras, por acción simplificadora de animales desbrozadores. El conjunto debe dirigirse sabiamente, logrando el equilibrio y adaptando el ganado a las posibilidades de producción existentes. La evolución provocada por agentes naturales, con ayuda de máquinas desbrozadoras o segadoras y empleo de fertilizantes químicos, permitirá producir en la misma finca el estiércol preciso para la transformación en cada malla del sistema. Dicha evolución será rápida o lenta, pero siempre progresiva.

LA INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS COMPLEJOS

No hay nada nuevo en lo que decimos; todo se conoce por lo menos parcialmente, pero falta mucho para conocer a fondo cada uno de los mecanismos biológicos implicados en las sucesiones mencionadas.

Nuestros conocimientos técnicos y científicos deben insertarse en su sistema si queremos obtener producciones y mantener la estabilidad del conjunto. Por observación y estableciendo paralelismos con lo que ocurre en comunidades naturales, se deduce que lo más urgente es definir las tramas, con distintas simplificaciones estructurales.

Como dice muy bien MARGALEF (1971), los sistemas complejos no pueden estudiarse sólo con modelos matemáticos. Estamos ante un caso claro de que interesa ante todo establecer un modelo concreto de explotación en ambiente difícil, realizando todas las simplificaciones posibles y determinando por tanteos las mallas.

Una finca modelo, en cada ambiente, permitiría conocer a fondo los mecanismos que regulan la estabilidad del suelo, asegurando su productividad indefinida. Hablamos antes del aporte de hojarasca, que proporciona energía a la flora y fauna edáfica para formar agregados estables; si eliminamos árboles, conviene sustituir económicamente dicho aporte. El ga-

nado mayor, el seleccionado tradicionalmente sobre pastos bastos (Hereford, Tudanca, Pirenaica, etc.), completa los desbroces y produce estiércol mucho mejor que la hojarasca de bosque. Ya tenemos los simplificadores para estructura del suelo; los que remueven el lastón para que salga pasto fino producen algo y, además, proporcionan alimento a las lombrices del suelo. Un mecanismo simplificador natural, económico y seguro.

Diversificados los pastos, establecidos los setos naturales, las bandas forestales en lugares ventosos y el bosque ordenado en las partes más alejadas de la granja, viene el ajuste ganadero, con razas adaptadas a las exigencias del mercado y de producción posible en las mallas de la finca. A la estructura vegetal algo compleja se une la diversificación ganadera, con ciclos de pastoreo bien calibrados para cada especie o raza. Completado el desbroce, si los pastos bastos ya no son necesarios, puede prescindirse del ganado mayor o reducirlo al mínimo indispensable. En ambientes mediterráneos difíciles, acaso interese emplear ganado cabrío, antílopes o camélidos, consumidores de «estructura vegetal» poco apropiada para otra clase de ganado. Lo importante es regular su actuación, ordenar el pastoreo, y para ello nada como la trama de setos y bosque-matorral.

Equilibrado el sistema, con sus tramas estructurales bien conocidas, pueden relacionarse los tipos de suelo con cada modalidad explotadora, determinando los factores que aún frenan la producción en cada parcela de la trama. La experiencia nos demostrará la validez de cada hipótesis; los resultados en «modelos» parecidos permiten generalizaciones determinando cuantitativamente los factores limitantes en cada caso. Llega el momento de establecer modelos físicos, con funcionamiento simplificado pero similar al de los modelos naturales estudiados. Finalmente, existe la posibilidad de ensayar modelos matemáticos abstractos, pero que pueden expresar esquemáticamente el proceso productor.

Las tramas que preconizamos son complejas y tardaremos mucho hasta obtener modelos matemáticos válidos para establecer las líneas directrices de una explotación que ligen con conocimientos biofísicos (transmisión de energía, estructura-función), climáticos, edafológicos, etc.

Entre tanto, urge ensayar, con ciertas garantías cualitativas y cuantitativas, modelos concretos de fincas en distintos ambientes difíciles de nuestra Patria. Todo el acervo de datos obtenidos permitirá precisar más sobre la teoría de las explotaciones agropecuarias extensivas. No es difícil predecir que será fundamental establecer mallas con distintos grado de simplificación en cada parcela. La ordenación forestal, hoy día muy empírica, seguirá derroteros similares, con reservas integrales, bosques conservados, explotados normalmente y sobreexplotados, pero abonados; las leyes biológicas de estructura-función son muy generales y rigen en todos los campos de la agricultura extensiva.

BIBLIOGRAFIA

(1) I. B. P., *Programa Biológico Internacional*. Ver la nota reciente de E. BALCELLS, en *Pirineos*, 98 : 127-128. Jaca, 1971. Acaba de celebrarse la cuarta asamblea en Roma (sep. oct. 1970) y sus actividades se prolongarán hasta publicar los resultados en 1975-1976.

(2) L. A. I., *Leaf Area Index* o *Índice del área foliar*, que indica las veces en que la superficie foliar supera a la del suelo. Acostumbra a oscilar entre 4 y 8 (10).

- (3) M. A. B. Programa intergubernamental e interdisciplinario de la UNESCO: *El hombre y la biosfera*, cf. An. Edafol. Agrobiol., 29 : 974-975. Madrid.
- (4) MARGALEF, R., 1970: *Explotación y gestión en Ecología*. Pirineos, 98: 103-121. Jaca.
- (5) MONTSERRAT, P., 1961: *Las bases de la práticamente moderna, III. Ecología*. Bol. Agro-Pecuario de la Caja de Pensiones, diciembre: 99-124. Cf. folleto núm. 47 de la Obra Social Agrícola. Barcelona.
- (6) MONTSERRAT, P., 1963: *The ecology of farming systems*. First Symposium of European Grassland Federation. Hurley, Inglaterra.
- (7) MONTSERRAT, P., 1963: *La investigación de pastos en Europa*. Agro-Aragónés, 54 : 6-7 y 55 : 6-7 y 22. Huesca, nov.-dic.
- (8) MONTSERRAT, P., 1964: *Ecología del pasto*. Publ. Centro Pir. Biol. exp., 1 (2) : 1-68, Jaca.
- (9) MONTSERRAT, P., 1965: *Los sistemas agropecuarios*. An Edafol. Agrobiol., 24 : 343-351, Madrid.
- (10) MONTSERRAT, P., 1965: *Ecología del sistema pastoral*. V.ª Reun. C. de la S.E.E.P.: 119-125, Madrid (en Jaca-Pamplona, julio).
- (11) MONTSERRAT, P., 1966: *Agronomía del pasto*. Las Ciencias, 31 (3): 189-202.
- (12) MONTSERRAT, P., 1968: *Los pastos pirenaicos y su importancia económica*. Pirineos (87-90): 133-152. Jaca, publ. en 1970.
- (13) MONTSERRAT, P., 1968-69: *La vejez del pasto*. Melhoramento, 21 : 229-247. Elvas, publicado en abril de 1971.
- (14) ODUM, E. P., y H. T., 1959: *Fundamentals of Ecology*, 2.ª ed., 546 pp. W. B. Saunders. Filadelfia y Londres.

FUNCTIONAL STRUCTURE OF FARM ECOSYSTEMS

SUMMARY

The author presents theoretical ideas on structural simplification of agricultural communities.

Soil ecology and its stability are dependent on productivity. In simplified communities (grasslands and arable fields) with high production for unity of biomass, the homeostasis of the system is controlled by man (farming), but natural communities have the highest stability and a natural homeostasis; it is necessary an agricultural network (edges, small forests and so on) for the highest productivity and stability.