

LA REPOSICION NATURAL Y ARTIFICIAL DE AGUA Y DE NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS AGRARIOS SOBRE EL PROCESO DE MEDICION Y SEGUIMIENTO

José-Manuel Naredo¹

I. CONSIDERACIONES METODOLOGICAS

¿Cuáles son las posibilidades y limitaciones de una historia cuantitativa de los sistemas agrarios? Cualquiera que haya trabajado sobre sistemas agrarios «tradicionales» e historiado su paso hacia los «modernos», es fácil que haya sentido la insatisfacción que produce la falta de datos e instrumental analítico para reconstruir el completo funcionamiento físico de los sistemas, a fin de apoyar con verdadero conocimiento (cuantitativo) de causa las interpretaciones, juicios y comparaciones que sobre tales sistemas ha de avanzar la investigación histórica. Insatisfacción que se agrava cuando a las carencias mencionadas se añade a veces una sobredosis de elaboraciones numéricas relativas a producciones, precios, rentas y demás elementos constitutivos de la misma idea usual de sistema económico, que pueden ser útiles para analizar la evolución temporal de los resultados de un sistema agrario, pero no la naturaleza de los cambios o rupturas que se producen en el mismo.

Cuando los cambios son tan radicales co-

mo los que acompañan el paso de los sistemas agrarios «tradicionales» a los «modernos», nos encontramos con que el aparato conceptual de esa idea ordinaria (y atemporal) de sistema económico resulta insuficiente para interpretarlos. Porque, además, existe un factor adicional de distorsión: el propio cambio de sistema modifica el peso y la función que los elementos considerados tienen en el mismo. En efecto, mientras en los sistemas «tradicionales» los agricultores trataban de colaborar con la Madre-Tierra para el engrandecimiento de algunos de sus frutos, en los «modernos» intentan obtener éstos contando lo menos posible con aquella. Lo cual supone que mientras en los sistemas agrarios «tradicionales» la «naturaleza» reponía en ciclo cerrado la mayoría de los «inputs» o medios de fertilización, tracción, semillas, etc., empleados, en los sistemas «modernos» se tienden a comprar todos sus medios de producción y a vender todos sus productos, equiparándose con las plantas industriales. Esta equiparación culmina en el caso de la ganadería sin-suelo y de la agricultura hidropónica (en las que se compra todo lo que entra en el proceso, salvo el oxígeno, el CO_2 y la energía solar y sus

¹ José Manuel Naredo es economista y director del Programa Economía y Naturaleza de la Fundación Argentaria en Madrid. Conocido experto en economía agraria y en economía ecológica, además de múltiples publicaciones sobre el tema, es autor de *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico* (Siglo XXI, 1987). El artículo que ahora se reproduce fue presentado en

un seminario entre técnicos e historiadores agrarios sobre «El ciclo de nutrientes en los sistemas agrarios», que tuvo lugar en Valsain (Segovia) el 16-17 de junio de 1994, coordinado por R. Garrabou y J.M. Naredo. Este y otros textos están siendo reelaborados con vistas a un segundo seminario a celebrar en la primavera de 1995, que dará lugar a una publicación.

derivados). En estos casos existe un solapamiento casi completo entre la versión física y la monetaria de las entradas de medios de producción y las salidas de productos (aunque no de residuos que, por definición, carecen de valor). Vemos, pues, que el cambio tecnológico operado desde los sistemas «tradicionales» a los «modernos» presupone, entre otras cosas, un cambio notable en la intersección entre la representación física y la monetaria de los procesos o, si se quiere, entre el conjunto de lo físico y aquel de lo económico, pasando desde la práctica disjunción hasta la unión casi plena de ambos conjuntos. Ni que decir tiene que el potencial de interpretación que ofrece la imagen que en el mundo físico proyecta la versión monetaria de los sistemas agrarios, varía bastante a lo largo del proceso de «modernización» (o monetarización) indicado, disminuyendo a medida que nos alejamos hacia el pasado. La única manera de controlar este problema pasa por modelizar el funcionamiento físico de los sistemas agrarios con independencia de que su proyección económico-mercantil sea más o menos acusada. Y para ello debemos orientar la búsqueda del aparato conceptual hacia la ecología (y las ciencias de la naturaleza por ella utilizadas) más bien que hacia la actual economía académica, de la que los historiadores han sido hasta ahora excesivamente tributarios. Precisamente este Seminario apunta a enriquecer la interpretación histórica de los sistemas agrarios al recaer sobre ellos no sólo desde la esa economía académica standard, sino también desde la ecología y la agronomía, propiciando una convergencia de enfoques y que permita superar las carencias antes mencionadas. Para que esta convergencia sea fructífera los planteamientos económicos deben romper su habitual aislamiento para erigirse en punto de «encuentro transdisciplinar capaz de derribar la Torre de Babel de las especialidades científicas» (J.M. Naredo, 1987). Sin embargo, para que tal cosa ocurra los planteamientos económicos han de adoptar esquemas multidimensionales y abiertos, lo que exigiría revisar la versión ordinaria de la función de producción que ofrecen los manuales en el sentido que más adelante se indica.

Hay que advertir que la «función de producción» que normalmente se utiliza en los manuales de economía (además de ser en su versión más común inadecuada para representar el proceso de producción agraria (Cfr. N. Georgescu Roegen, 1978)) no permite analizar el funcionamiento interno y la incidencia externa (sobre el «medio ambiente») de los procesos de producción ni, en general, enjuiciar la naturaleza de los cambios tecnológicos y la estabilidad y viabilidad de los sistemas resultantes. Como ya indiqué en otras ocasiones (Vid. J.M. Naredo, 1987; J.M. Naredo y J. López-Gálvez, 1994) la usual desatención del análisis económico, tanto hacia lo que ocurre «dentro» del proceso productivo, como hacia las relaciones con su «medio ambiente», es la consecuencia lógica de la representación que normalmente se hace en teoría económica de dicho proceso mediante un vector (P, a, b, c, \dots) que nos relaciona a través de una función $p = f(a, b, c, \dots)$ las cantidades de producto (P) con las cantidades de factores (a, b, c, \dots) . Se practica así un recorte implícito importante al representar el proceso de producción mediante una forma particular de función —la denominada en matemáticas *función punto*, representable en un espacio euclidiano —dando a entender que no existen otras posibilidades de expresar matemáticamente dicho proceso.

La función de producción así expresada viene a ofrecernos una información comparable, no tanto a la de una receta de cocina —como dice algún manual conocido —como a la lista de ingredientes que suele figurar encima de ella en los libros de cocina: para obtener 1 bizcocho, se requiere: 1 huevo, 2 tazas de leche, etc. Entre las limitaciones que se derivan de representar un proceso mediante una lista de ingredientes monetizables que entran y salen en el mismo, cabe destacar las siguientes: 1.º La decisión de identificar un proceso por sus límites, indicando las unidades que entran y salen de ellos, nos lleva implícitamente a renunciar a describir lo que pasa dentro y fuera de esos límites, con lo que los cambios de tecnología y de escala aparecen como meros problemas cuantitativos o de agregación o suma, sin detectar cambios cualitativos en el comportamiento y la viabilidad del sistema, ni

nuevos problemas que merezcan ser investigados. 2.º Al establecer que el proceso de entradas y salidas empieza en t_0 y termina en t_1 normalmente hacemos abstracción de lo que ocurre antes de t_0 y después de t_1 . 3.º Al registrar sólo los elementos que son objeto de valoración monetaria se hace abstracción de los otros elementos físicos que entran en el proceso en forma de recursos y salen del mismo en forma de residuos. 4.º Por último, no hay que descartar que al razonar sobre una lista determinada de ingredientes se olvida a veces que no tiene por que ser la única, ni la más eficiente para obtener el producto deseado.

En lo que sigue trataremos de razonar sobre un *catálogo de posibles «recetas»* con todos sus «ingredientes», incluidos los residuos. Hay que advertir que este catálogo trascendería la función punto antes mencionada y no correspondería ya a un espacio euclídeo: este catálogo daría lugar a lo que en matemáticas se denomina una ecuación funcional, cuya expresión geométrica habría que buscarla en un espacio abstracto opuesto al euclidiano. Ya que en este caso la representación del proceso de producción vendría dada por una colección de funciones punto (que constituiría la ecuación funcional antes mencionada) y por una colección de vectores de cantidades en vez de por un solo vector.

En el caso de los sistemas agrarios, el desconocimiento de su comportamiento físico suele dificultar o dañar la solvencia de los intentos de interpretación histórica. Como indicamos, la información física disponible se limita comúnmente a aquellos «inputs» y producciones que son objeto de transacción mercantil, permaneciendo en la sombra el resto de los procesos (que en los sistemas «tradicionales» comprenderían lo fundamental del ciclo de agua y de nutrientes). Los sistemas agrarios aparecen así hoy, y con mayor razón en el pasado, como una especie de caja negra en la que se introducen determinados «inputs» monetizables y se obtiene, sin saber muy bien cómo, un producto vendible. Sin embargo para analizar la eficiencia técnico-económica de un sistema de producción cualquiera es necesario conocer mínimamente su funcionamiento físico, sus posibilidades y limitaciones e in-

terpretar así con solvencia su devenir histórico, investigando para ello dentro y fuera de esa «caja negra». Entiendo que el propósito de este seminario pasa por abrir la mencionada «caja negra» para ver cómo resuelven los sistemas agrarios sus exigencias de agua y de nutrientes.

II. SOBRE LAS DISTINTAS FORMAS DE REPOSICION DEL AGUA Y LOS NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS AGRARIOS Y SU CUANTIFICACION

La ecología utiliza hoy día los términos *producción* y *producto neto* para designar la materia (medida normalmente en peso seco) bruta o neta que fijan los ecosistemas a través de la fotosíntesis en un tiempo determinado. Esta *producción* o *producto neto* tiene lugar en los ecosistemas naturales sin necesidad de que el hombre intervenga para nada. La energía solar mueve por sí sola los flujos de agua y de nutrientes como el agua la rueda de un molino. Las sociedades humanas recolectoras y cazadoras han vivido desde siempre apropiándose una parte de estas *producciones* de la Madre-Tierra sin intervenir en su generación. La historia de la agricultura arranca con el afán humano de orientar y propiciar esas «creaciones» de la Madre-Tierra, tratando de incidir sobre ellas, primero de forma más bien ritual, después de forma pretendidamente experimental. Primero tratando de colaborar con la naturaleza, después buscando sustituirla con el ánimo de controlar mejor los procesos y, como hemos anticipado, los sistemas agrarios «tradicionales» se encuentran a caballo entre uno y otro extremo.

Así las cosas, no tiene nada de extraño que los economistas franceses del siglo XVIII, hoy llamados «fisiócratas», estuvieran interesados en los logros experimentales de la joven agronomía y opinaran por boca del marqués de Mirabeau, su divulgador más prestigioso, que la agricultura era «una manufactura de institución divina, en la que el fabricante tiene como socio al Autor de la naturaleza, al Productor mismo de todos los bienes y de todas las riquezas» (*Philosophie Rurale*, 1763). Pero esta idea de que es la Na-

turalidad, o Dios, quien alimenta a la agricultura, presente todavía en autores del XIX, acabó muriendo por obra y gracia del mecanicismo entonces dominante en todos los campos del saber. «El mito de la máquina como creadora de riqueza se extendió hasta concebir a la propia naturaleza como una máquina ya construida hace tiempo y, por lo tanto, gratuita, conforme a la idea enunciada por Descartes de que todo cuanto existe, excepto la mente humana, es una máquina que el hombre puede manejar a su antojo» (J.M. Naredo, 1987). La naturaleza pasó así de ser considerada como un gran organismo que debería ser objeto de admiración, respeto y colaboración, a ser tomada como un simple almacén de materiales y potencial de fuerzas a explotar.

La agronomía, tras una situación de transición en el XVIII en la que todavía pervivían las viejas ideas organicistas, derivó de modo irrefrenable hacia el mecanicismo, desde los trabajos de Théodore de Saussure, de Boussingault, ... hasta los de Liebig y Sachs. La conocida polémica entre Liebig y Bousingault constituye un episodio notable en esta evolución. El hecho de que el error, hoy manifiesto, de Liebig de afirmar que el humus no contribuía en nada más que en ofrecer el nitrógeno, el fósforo y el potasio reclamados por la planta, saliera triunfante respecto a la posición contraria de Boussingault, denota lo favorable que le fue el contexto: el suelo fértil quedaba simplificado a los tres componentes químicos activos mencionados y el problema de la alimentación de las plantas podía resolverse de forma mecánica aplicando la ley del mínimo. Ese medio complejo que es el suelo fértil, en el que conviven microorganismos con materia orgánica en distinto grado de descomposición y con sustancias minerales de índole diversa, aparecía reducido, en lo referente a la alimentación de las plantas, a un mero depósito de nutrientes y representado por un triángulo en cuyos lados se registraban las cantidades de *N*, *P*, *K*, contenidas o aportadas. El paso siguiente fue el dado por Sachs: en vez de ver lo que hay que echar a la tierra para favorecer el crecimiento de las plantas testigo, éstas se instalan ahora en un suelo totalmente artificial (fabricado ex profeso para conocer su com-

posición con exactitud) y un ambiente controlado, para reducir la ambigüedad de las experiencias. De esta manera se fue rompiendo paulatinamente la relación del proceso agrario con el medio natural y se fue desplazando lo fundamental de las experiencias desde el campo hacia los laboratorios, para desplegar allí sin problemas el enfoque analítico-parcelario recomendado por Descartes como apoyo eficiente a su epistemología mecanicista.

Nos encontramos así con que primero predominó durante milenios un tipo de agricultura y de reflexión que atribuía a la Madre-Tierra el papel fundamental de «fábrica» espontánea de los nutrientes requeridos por las plantas, para desembocar desde hace poco más de un siglo en la idea de que el agricultor debe «reponer» artificialmente los nutrientes que las plantas han utilizado, estimando que si no lo hace el suelo se empobrecerá irremediablemente. Siendo la ley de mínimos ya mencionada el instrumento básico a tener en cuenta para esta gestión, a fin de suplir con prontitud cualquier carencia que pudiera intervenir como «factor limitante» de la producción. De esta manera se ha acabado por aportar artificialmente muchísimos más nutrientes y agua que los «extraídos» por la planta, originado graves problemas de contaminación por lixiviación de fertilizantes.

El problema estriba en que la agronomía no sólo desarrolló sus investigaciones y recomendaciones sobre la base del enfoque mecanicista antes mencionado, sino que sigue todavía siendo, en buena medida, tributaria del mismo. Sólo así se explica que aún no se haya estudiado con precisión el papel del suelo fértil como «fábrica» espontánea de nutrientes que explica que se hayan podido generalizar las prácticas de cultivo durante milenios, sin «reponer» artificialmente los nutrientes extraídos por las cosechas, y sin que desapareciera el suelo fértil. Pues es una constante generalmente reconocida que en la agricultura «tradicional» los nutrientes expresamente aportados en forma de estiércol y abonos, no cubrían los extraídos por las cosechas. Así lo llegué a calcular, por ejemplo, en el caso del olivar (J.M. Naredo, 1983) al observar que, en el cultivo «tradicional» realizado en el valle del

Guadalquivir, se solían estercolar anualmente sólo superficies que oscilaban entre 1/8 y 1/3 de la plantación con dosis anuales comprendidas respectivamente entre 12 y 5.000 kilos de estiércol por hectárea, mientras que la «reposición» de los nutrientes extraídos por la cosecha hubiera exigido dosis de entre 4.500 y 5.000 kilos por hectárea. A un cálculo similar se llega con los datos del libro de Fernández Latorre (A. Fernández Latorre, 1927) en el que se estima que una cosecha de 1.800 kilos de aceituna por hectárea (20 kilos por árbol, en marco de 90 árboles por hectárea) la plantación «saca» del suelo 24 kg de nitrógeno, 7 kg de ácido fosfórico y 26 kilos de potasa, por lo que harían falta 4.800 kg por ha del estiércol de riqueza media aplicado en mis cálculos antes mencionados, para reponer el nitrógeno, 4.300 para reponer la potasa y 1.750 para reponer el fósforo.

Aunque con motivo de la citada investigación sobre el olivar sugerí algunas ideas intuitivas sobre cómo podía funcionar el ciclo de nutrientes en ese cultivo, recuerdo mi frustración al no encontrar en la literatura una respuesta satisfactoria sobre el tema. Creo que ya va siendo hora de que la agronomía explique con claridad y precisión por qué se han mantenido establemente sistemas agrarios «tradicionales» sin que el estiércol y los abonos expresamente «aportados» por el hombre cubrieran de modo sistemático los nutrientes «extraídos» por las cosechas y creo que incentivar esta búsqueda es un propósito de este seminario. Avancemos algunas explicaciones más generales para orientar esa búsqueda y provocar matizaciones y respuestas por los técnicos que participan en el encuentro.

En primer lugar hay que recordar que las experiencias actuales de la llamada agricultura «biológica», «ecológica» u «orgánica», que trata de evitar el empleo de medios químicos de fertilización y tratamiento, pueden ser de utilidad para comprender mejor el funcionamiento del ciclo de nutrientes en los sistemas de agricultura «tradicional». El caso más conocido es el del nitrógeno. Este es un elemento que, siendo un componente esencial en la biosfera, es abundante en la atmósfera, pero escaso en la litosfera. Por lo que la forma generalizada y estable de «re-

poner» en los suelos el nitrógeno «extraído» por las plantas, viene realizada por la actividad espontánea y gratuita de determinadas bacterias que se dedican a captar el nitrógeno atmosférico para fijarlo en los suelos. De ahí que estas bacterias pueden aportar sin menoscabo en los rendimientos del cultivo (en un suelo con humus) el nitrógeno que el hombre tendría que facilitar directamente en un suelo artificial o en un cultivo hidropónico. Y de ahí que existan patrones de abonado que al calcularse ignorando la posible función nitrificadora de las bacterias (que se inhibe al aportar nitrógeno a los suelos) recomienden la aplicación de nitrógeno en dosis que podrían ser innecesarias en los suelos con suficiente materia orgánica y vida bacteriana. La tesis doctoral de López-Gálvez (J. López-Gálvez, 1991) atestigüa esta cuestión en el caso del cultivo de judía verde de mata baja. Así, el estercolado de los suelos no sólo aporta nitrógeno, sino que activa la «fabricación natural» del mismo que se opera en los suelos, permitiendo que el nitrógeno contenido en el estiércol aplicado se mantenga sistemáticamente por debajo del demandado por el cultivo, como vimos en el caso del olivar antes mencionado. Vemos, pues, que se puede obtener el mismo producto con «recetas» de producción distintas que conllevan sistemas de manejo del suelo diferentes.

Sin embargo, lo que está claro en el caso de ciclo del nitrógeno, quizá no lo esté tanto, al menos para mí, en lo que concierne a la reposición de los otros elementos (que, evidentemente, no pueden captarse de la atmósfera). En cualquier caso hay que tener presente que el suelo húmico, lejos de ser una simple reserva inerte de nutrientes, viene a contener unas 25 toneladas de vida orgánica por hectárea (P. Matile, 1973) y a establecer complejas relaciones con las plantas. Al decir de este autor «el sistema suelo-vegetal constituye un complejo organismo cuyas funciones metabólicas se distribuyen, tanto en los órganos de la planta como en las diferentes poblaciones de organismos del suelo. Los organismos del suelo se revelan como órganos auxiliares de la planta, que sólo en circunstancias excepcionales —como las micorrizas o nódulos bacterianos de las leguminosas— se unen a la planta de forma

visible». Los intentos del enfoque analítico-parcelario de simplificar el sistema y estudiar sus partes separadamente, abandonaron así el estudio de los caminos más complejos por los que se cerraba el ciclo de nutrientes en los sistemas agrarios «tradicionales» (o por los que se pretende cerrar en la actual «agricultura biológica»).

Una vez aclarado el tema de la reposición de un elemento del suelo tan masivamente demandado por las plantas como el nitrógeno, la respuesta que dan los técnicos de la «agricultura biológica» relativa a los otros elementos es la siguiente: aunque no se puedan captar de la atmósfera, estos elementos suelen existir en el suelo en cantidades muy superiores a las requeridas por las plantas; el problema estriba en que se encuentran formando rocas y minerales que no son asimilables por las plantas, por lo que la función de la materia orgánica y de los organismos y microorganismos del suelo consiste en hacerlos adoptar formas asimilables. Ante la pregunta de cómo la agricultura orgánica (ya sea «tradicional» o «biológica») aportando muchos menos fertilizantes que la «química» conserva mejor la fertilidad de los suelos, Arman (K. Arman, 1983) afirma que «la respuesta es que tenemos que apreciar que la tierra contiene los elementos en dos formas diferentes: una, original, estable y fija, y otra, soluble en agua y, por tanto, asimilable por las plantas y accesible a los análisis químicos del suelo. En la primera forma, los elementos se encuentran en enormes cantidades en comparación con las necesidades de los cultivos y, en general, de un modo uniforme hasta grandes profundidades. Por término medio, la capa cultivable de una hectárea contiene en esta forma fija de 6 a 12 toneladas de nitrógeno, de 5 a 10 de fósforo, de 10 a 20 de potasio y de 1 a 3 toneladas de microelementos, como cobre, magnesio, manganeso, etc. En general, un cultivo necesita para su desarrollo solamente una pequeña proporción de estas cantidades y los frutos vendibles contienen menos de la mitad de esta proporción. Por eso, lo que hace falta es que a través de los procesos digestivos del suelo se transmitan pequeñas cantidades de las reservas que hay en él hacia formas asimilables por las plantas. Este proceso normalmente es llevado a cabo

por insectos, lombrices y microorganismos, razón por la cual se trata de un proceso natural que se puede reforzar o detener con los medios que se utilizan en el cultivo, tanto en forma de abonos y tratamientos como en forma de laboreo. Los abonos químicos y otros productos químicos tienen una influencia desfavorable en estos procesos, mientras que los abonos orgánicos y la ausencia de tratamientos químicos aumentan la cantidad de microorganismos y otros seres vivos del suelo que ejercen las funciones antes indicadas. En esta circunstancia se tiene que buscar la explicación de los éxitos duraderos, pero enigmáticos, de la agricultura orgánica». Lo cual podría explicar el hecho de que los productos de la agricultura «orgánica» suelen tener mayor riqueza en microelementos que los de la agricultura convencional (H. Vogtmann, 1983). Por ejemplo, los análisis del contenido de una muestra de productos de la agricultura «ecológica» frente a los convencionales que se encontraban al alcance del consumidor madrileño que encargué cuando era Subdirector de Estudios de Banco de Crédito Agrícola (BCA), mostraron que los primeros tenían bastante más contenido en hierro, lo cual me sorprendió habida cuenta que el hierro es un elemento abundante en la mayoría de los suelos: surgió entonces la explicación de que por muy abundante que sea el hierro, requiere normalmente de la intervención de unos quelatos (asociados a la materia orgánica de los suelos) para ser asimilable por las plantas (BCA, 1991).

Intentaremos arrojar alguna luz más sobre este «enigma» con algunos datos adicionales contenidos en el cuadro adjunto. Este cuadro ofrece información cuantitativa de una colección de «recetas» de producción encaminadas a obtener un mismo producto: tomate vs. «Daniela». El cultivo se desarrolló durante 1992-1993 en un mismo invernadero pasivo de bajo coste en la Estación Experimental «Las Palmerillas» (Almería) con el fin de analizar cómo variaban las exigencias en el manejo del agua y los nutrientes según se utilizaran distintos tipos de suelo o de sustrato. La experiencia comparó el cultivo en suelo «enarenado» usual en el litoral almeriense, frente al cultivo en cuatro tipos de sustratos (S1, S2, S3, S4) fabricados indus-

trialmente a base de «perlita» y de «arena de roca» que se comercializan normalmente en la zona (sobre el detalle y los resultados de esta experiencia vid. J. López-Gálvez, J.R. Díaz-Alvarez, J.M. Naredo, et al., 1994). Las mediciones llevadas a cabo a lo largo de la experiencia permitieron cuantificar la colección de «recetas» de producción antes mencionada, correspondiente a una familia de funciones de producción cuyas marcadas diferencias responden exclusivamente al distinto tipo de suelo o sustrato empleado, ya que como hemos visto se refieren a la misma zona, campaña, cultivo, invernadero, etc.

El cuadro adjunto tiene así la virtud de evidenciar, con mediciones de primera mano de las que tan escasos andamos, las notables variaciones que observa la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes para abastecer las necesidades de la planta según el tipo de suelo empleado. En el cuadro destaca la mayor eficiencia del cultivo en suelo «enarenado» frente a los cultivos en sustratos carentes de materia orgánica (también llamados cultivos «sin suelo»). Otra información importante que se deriva de esta experiencia es que, al cerrar el balance de nutrientes, se observa que la fertilización «aportada» en los sustratos multiplica por dos y por tres la «extraída» por la cosecha, mientras que en el cultivo en suelo «enarenado» es inferior a la «extraída» en 600 kilos por hectárea de elementos puros, que difícilmente podría cubrir la aplicación de 100 toneladas de estiércol por hectárea cada tres años que se suele aplicar en este sistema (al desconocer la composición exacta del estiércol aplicado no podemos precisar este extremo). De esta manera aflora inusualmente de nuevo, en este caso de agricultura muy capitalizada e intensiva (pero, sin embargo, bastante «orgánica») el rasgo propio de la agricultura «tradicional» en la que los nutrientes aportados por el hombre apenas llegan a cubrir los extraídos por la cosecha sin que ello redunde en obligado detrimento de la fertilidad del suelo. Lo que nos subraya de nuevo el interés de esclarecer el «enigma» del suelo como «fábrica» de nutrientes, precisando en cada caso cuales son sus posibilidades y sus límites.

Precisamente, no podemos acabar este

apartado sin recordar que la clave de la estabilidad o «sostenibilidad», diríamos hoy, de los sistemas agrarios «tradicionales» ha reposado en su adaptación a estos límites, marcados por las características del suelo y el clima de cada zona. Adaptación que se apoyó tanto en la selección de los cultivos y aprovechamientos, como en las prácticas agrarias aplicadas. Así, en zonas de clima húmedo, en las que no se agotaba la reserva de humedad de los suelos durante el verano, un cereal de primavera como el maíz pudo erigirse en cultivo dominante aprovechando la mayor insolación disponible en esa estación. Lo mismo que en las zonas de clima xérico o mediterráneo, en las que la sequía estival agotaba esta reserva, se extendió la civilización del trigo y otros cereales de invierno cuya cosecha se recogía antes de que culminara el estrés hídrico veraniego. Y que en las zonas de clima monzónico se extendió la civilización del arroz, aprovechando los encharcamientos estacionales que en ellas se producían. En segundo lugar, tanto el marco de plantación, como las rotaciones de cultivos o la transhumancia, se ajustaban a las limitaciones edafoclimáticas de los territorios. Como, también, las prácticas de cultivo, estercolado o abonado en verde contribuían de forma más o menos afortunada a paliar las limitaciones del medio. Por ejemplo, en zonas de clima húmedo, en las que el agua que aportaban las precipitaciones superaba el gasto en evapotranspiración de las plantas, originando el encharcamiento de los suelos, el drenaje o «saneamiento» fue la práctica más extendida para facilitar la escorrentía y posibilitar así la agricultura, lo mismo que en las zonas con problemas de aridez los trabajos de preparación del terreno apuntaron mayoritariamente, por el contrario, a reducir la escorrentía mediante obras de aterrazamiento, laboreo del suelo tendente a romper su costra superficial... o, como se hacía en Canarias, tratando de condensar más gotas de agua al paso de las nubes bajas clavando una ramita de brezo a lado de cada semilla plantada, por no hablar de las prácticas de «mulching», «paillage» o acolchado de suelos con picón, arena... paja y estiércol o turba, según los casos, para conservar el agua o la temperatura de los mismos a la vez que se mantenía su airea-

ción. La ingente tarea que le queda por hacer a la historia de los sistemas agrarios que estamos defendiendo pasa, primero, por descubrir e inventariar todas estas prácticas tradicionales, para analizar después experimentalmente su función como técnicas eficientes o como rituales carentes de sentido práctico.

Advertimos, por último, en lo referente al ciclo hidrológico y a las necesidades de evapotranspiración de las plantas, que la teoría

quizá esté aquí más elaborada, firme y completa que en lo relativo al ciclo de nutrientes: no parece que exista ningún «enigma» como el del papel del suelo en la fabricación de nutrientes. Las controversias se cerraron hace tiempo (C. Solís, 1990) aunque en nuestro país quedan amplias lagunas de conocimiento motivadas por la falta de datos empíricos referentes a nuestro territorio y a los sistemas agrarios que lo pueblan (J.M. Naredo y J. López-Gálvez, 1994).

FLUJOS FISICOS ANUALES EN VARIOS SISTEMAS DE CULTIVO (10³ Kg/ha)

	E	S1	S2	S3	S4
ENTRADAS: AGUA (A)	3.410	5.061	5.478	7.079	5.612
FERTILIZANTES (F)	6,4	11,1	11,9	14,7	11,8
SUSTRATO (S) *	—	1,7	3,7	6,2	9,7
ESTIERCOL (E) **	—	33,3	—	—	—
ARENA (AR) ***	160	—	—	—	—
SALIDAS: COSECHA (C)	135	178,3	167,9	174,3	158,5
RESIDUOS: AGUA (A)	300	1.399	1.982	2.220	1.421
FERTILIZANTES (F)	0,6	5,6	6,8	9,7	6,6
SUSTRATO (S) *	—	1,7	3,7	6,2	9,7
RATIO DE EFICIENCIA:					
— g de cosecha por l de agua	39,6	35,2	30,6	24,6	28,2
— kg de cosecha por kg de fertilizante	21,1	16,1	14,1	11,9	13,4
RATIOS DE CONTAMINACION:					
— l de agua lixiviada por kg de cosecha	2,2	7,8	11,8	12,7	9,0
— g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha	4,4	31,4	40,5	55,7	41,6
— g de residuo sólido por kg de cosecha	—	9,5	22,0	35,6	61,2
— mg de residuo (F) por l de agua lixiviada	2,0	4,0	3,4	4,4	4,6

E = Suelo enarenado

S1 = Sustrato Clase 1

S2 = " Clase 2

S3 = " Clase 3

S4 = " Clase 4

* Como la vida de los sustratos es de dos años se ha calculado el flujo anual suponiendo que cada año entra y sale la mitad.

** Como la operación de retranqueo (aportación de estiércol) debe realizarse cada tres años, se ha tomado como flujo anual un tercio del estiércol aplicado.

*** Como se estima en diez años la vida útil de la arena del enarenado, se ha calculado el flujo anual dividiendo por diez la arena aportada.

Fuente: J. López-Gálvez, J.R. Díaz-Alvarez, J.M. Naredo, et. y al., *Primeros resultados del programa de investigación dirigido a comparar el enarenado frente a otros sustratos en los invernaderos de Almería*, FIAPA, Almería, 1994 y López-Gálvez, Díaz-Alvarez y Naredo, «Problemática medioambiental del sistema de cultivo en sustrato con solución perdida», Comunicación al XVI Congreso Internacional de la CIPA, Verona, abril de 1994.

III. SOBRE LA EVOLUCION DE LAS CONSIDERACIONES GLOBALES ACERCA DEL CICLO DE NUTRIENTES EN LA AGRICULTURA Y DE SU RELACION CON LAS CIUDADES

Es cosa sabida que originariamente, de acuerdo con las viejas mitologías, se consideraba que las producciones agrarias, al igual que los demás procesos de generación, eran fruto de un maridaje entre la Madre-Tierra y las potencias celestes (Vid. J.M. Naredo, 1987, Cap. 3 y 8). «La tierra concibe por el sol y de él queda preñada, dando a luz todos los años», señalaba Coopérnico en su obra cumbre *De revolutionibus*, recogiendo la misma idea ya expresada por Aristóteles en su *De animalibus*, que resultaba coherente con la visión organicista del mundo entonces dominante (tan inmejorablemente descrita por Platón en su *Timeo*). De esta manera, las labores agrícolas debutaron en la historia de la humanidad como prácticas rituales tendentes a propiciar esa unión entre el cielo y la tierra y a acrecentar así sus frutos. Y en los albores de la agronomía como ciencia experimental, se mantenía esta actitud de respeto y colaboración con la naturaleza, que se extendió durante ese siglo que va desde la publicación de los *Principios* de Newton en 1687, hasta la del *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier en 1789, es decir, en ese periodo de transición en el que se solapó el auge de la filosofía mecanicista con la pervivencia de las ideas alquímicas.

Pero una vez abandonadas las ideas creacionistas arcaicas y aceptado con generalidad tanto por la mecánica como por la química el principio de conservación de la energía y la materia, autores como Boussingault, Mulder y Liebig fundaron la química agrícola sobre estos principios, utilizando para ello el balance de nutrientes como instrumento básico de razonamiento tanto teórico como aplicado.

Dicho esto quiero subrayar aquí que, todavía a mediados del siglo pasado, ni siquiera el más reputado padre de la química agrícola y de la propia agricultura química, Justus von Liebig, creía que la humanidad podría generalizar un progreso duradero de la agricultura de otra manera que no fuera cerrando el ciclo de nutrientes mediante el

aprovechamiento de los residuos orgánicos de las ciudades. En efecto, en la primera parte, dedicada al proceso de nutrición vegetal, de su libro básico *La química aplicada a la agricultura y a la fisiología* (J. von Liebig, 1840) tras indicar que el crecimiento «anormal» de la población europea se había apoyado en una serie de circunstancias «fortuitas», como el descubrimiento y explotación de los yacimientos de guano y la extensión del cultivo de la patata, advertía que, a su juicio, «la población no podrá mantener ese nivel de crecimiento, si no cambia del modo de explotación actual, a no ser que se cumplan dos condiciones: 1.ª Que por un milagro divino los campos recobren la fecundidad que les ha arrebatado la estulticia y la ignorancia. 2.ª Que se descubran depósitos de guano o de abonos de una extensión comparable a las de las minas de carbón. Ninguna persona razonable —continuaba a renglón seguido— considera probable o posible la realización de estas condiciones... La introducción de los *water-closets* en las ciudades inglesas acarrea el resultado de que las condiciones para la reproducción de las sustancias necesarias para la nutrición de tres millones y medio de habitantes sean irremediablemente perdidas: la mayor parte de la enorme cantidad de abonos que importa Inglaterra todos los años se va por los ríos al mar, mientras que los productos con ellos creados no alcanzan para alimentar la sobredimensionada población. Y lo que es peor, esta destrucción se produce en todos los países europeos, aunque en menor medida que en Inglaterra... De la solución que se dé al problema de los desechos de las ciudades dependerá —concluía Liebig— el mantenimiento de la riqueza, el bienestar de los Estados y el progreso de la cultura y de la civilización».

Recordemos que durante todo el siglo XIX se mantuvieron en Europa dos maneras contrapuestas de enfocar y de resolver el problema de los residuos orgánicos de las ciudades. En Inglaterra, los movimientos que trabajaban en favor de las condiciones de vida de los pobres y de la salubridad de las ciudades, espoleados por las epidemias de cólera asiático que se cobraron en Londres decenas de miles de muertos en 1849 y 1853-54 (W.H. McNeil, 1984) habían adop-

tado entre otros *estándares* el de conseguir un WC por familia (J.M. Naredo, 1991) y «no menos de seis comisiones parlamentarias habían sido creadas entre 1848 y 1855 para mejorar las alcantarillas de Londres» (a fin de que pudieran asumir la extensión de este artefacto)... veinte años después, los ingenieros británicos se habían convertido en líderes mundiales de cálculo, diseño, mantenimiento y ventilación de alcantarillas para una población cuyo consumo *per capita* de agua había alcanzado los niveles que sólo igualaría París varias generaciones más tarde» (I. Illich, 1989). El más destacado promotor de estas ideas fue el reformador utilitarista Edwin Chadwick, que había ideado en 1840 el plan que más tarde tuvo la oportunidad de aplicar como director de la Junta Central de Salud (1848-1854). Conviene matizar que, aunque su plan se realizó en lo que al alcantarillado concierne, no ocurrió lo mismo en lo relativo a la reutilización agraria de los residuos orgánicos, aspecto éste también considerado en el mismo. En efecto, esta parte del proyecto inicial de Chadwick «fracasó ya que no pudo llegar a acuerdos financieros satisfactorios para que los desechos fueran vendidos como fertilizantes a los granjeros. El motivo era que los agricultores podían disponer de guano de Chile y el Perú y de fertilizantes sintetizados artificialmente de uso más cómodo que todo lo que Chadwick pudiera hacer con los desechos. La solución práctica fue verter las nuevas cañerías del alcantarillado en los cauces de agua disponibles, a menudo con desagradables resultados. El desarrollo de métodos eficaces para procesar los desechos, para que los efluvios fueran inofensivos, tardó otro medio siglo y la instalación de tales plantas a gran escala tuvo que esperar hasta bien entrado el siglo XX, incluso en las ciudades más prósperas y debidamente administradas» (W.H. McNeil, 1984). El nuevo sistema de abastecimiento de agua y eliminación de desechos a través del WC y el alcantarillado se acabó extendiendo por todo el mundo occidental y la mayor parte de sus antiguas colonias, con la excepción más notable de los países asiáticos, en los que la tradicional reutilización de los excrementos ha permanecido vigente.

Sin embargo, Francia se resistió largo

tiempo a adoptar el modelo inglés. En 1835 un decreto del Instituto de Francia rechazó la propuesta de generalizar en París el WC y de canalizar los residuos al Sena, argumentando que sería absurdo enviar al desagüe los residuos orgánicos de los caballos y los habitantes de la ciudad, que alcanzaban un notable valor económico al ser masivamente reutilizados en los numerosos huertos urbanos y periurbanos existentes. El propio *Journal de chimie médicale* de París mantuvo esta misma posición veinte años más tarde, en parte apoyada por la eficiencia de estos huertos, que llegaron a producir anualmente unos 50 kg de frutas, hortalizas y legumbre *per capita* y a ocupar unas 6,5 personas por hectárea, a la vez que el estercolado masivo, el empleo de la técnica del *paillage* y el uso de abrigos e invernaderos, permitía la obtención de varias cosechas al año (G. Stanhill, 1977). De esta manera, como nos recuerda Illich (*Ibid.*) «la pretensión de Kropotkin enunciada en 1899, de que París podía abastecer a Londres de verduras no era en modo alguno insensata». E incluso que, ya implantado el ferrocarril, se propusiera la conveniencia de utilizar este medio de transporte para que París enviara sus desechos orgánicos hacia zonas agrarias alejadas, compensando así su condición de importador neto de alimentos y forrajes con la de exportador de residuos fertilizadores.

Valga lo anterior para advertir que todavía en el filo del siglo XX tenía bastante peso la idea de que el progreso duradero de la agricultura dependía de que se pudiera cerrar el ciclo de nutrientes devolviendo a los campos la materia orgánica que de ellos había salido. Así lo atestigua la obra clásica de Karl Kautsky, *La cuestión agraria. Estudio sobre las tendencias de la agricultura moderna*, editada en alemán en 1898 y en francés en 1900 (K. Kautsky, 1900). En ella este autor hace suya la posición indicada, divulgando las consideraciones de Liebig antes mencionadas. Como es bien sabido, este punto de vista perdió por completo su vigencia en el mundo occidental, sobre todo a raíz de los logros de la industria química en la obtención de fertilizantes observados tras la segunda guerra mundial en el marco de la llamada «revolución verde».

Sin embargo, cuando la preocupación por

lo limitado de los yacimientos de «guano», presente en Liebig, se vio desplazada con el uso de los productos petrolíferos en la fabricación de fertilizantes sintéticos, surgieron nuevas preocupaciones relacionadas con los dobles efectos negativos originados por la «mineralización» de los suelos y la contaminación de las aguas derivadas del uso de fertilizantes en la agricultura y por el vertido de los residuos de las ciudades. Cuando en el horizonte del siglo XXI la mayor parte de la población mundial está llamada a habitar en ciudades, resurgen corregidas y ampliadas las objeciones que hace un siglo Liebig, Kautsky y otros autores de la época, ponían al modelo londinense de mejorar la salubridad urbana, subrayando el falso paso tecnológico que ha supuesto su extensión (que todavía no alcanza plenamente a los países más populosos de Asia). Pues, como concluye Margalef en su libro *La biosfera* (R. Margalef, 1980) el modelo de gestión que han seguido las modernas megalópolis se asemeja a «la lógica de los copépodos», cuya generalización a escala planetaria origina manifiestos problemas de inestabilidad, al no cerrar los ciclos de materiales en contra el proceder normal de los ecosistemas que hicieron ganar a la biosfera en extensión y en diversidad. Los copépodos son unos crustáceos muy simples que viven y se alimentan de algas en la zona fótica o superficial de las aguas, pero que envían sus defecaciones a aguas profundas, al envolver sus detritus en pequeñas membranas que impiden su dilución en las aguas superficiales en las que se nutren. El modelo de gestión que mejoró la salubridad urbana facilitando el enorme crecimiento de las ciudades, como ocurre en el caso de los copépodos, tampoco cierra en flujo de nu-

trientes, es decir, no utiliza sus propios detritus para acelerar los procesos de los que se nutre. Con lo cual el aumento de los asentamientos de población que se guían por este patrón de comportamiento, tiene que apoyarse en la apropiación, y simplificación, de los recursos de territorios cada vez más amplios y alejados y en la utilización de otros como sumidero, con el consiguiente deterioro del conjunto.

De ahí que no tenga nada de extraño que, cuando la problemática indicada alcanza dimensiones planetarias, el *Libro verde del medio ambiente urbano* elaborado por la Comisión de la Unión Europea, trascienda la ya centenaria y localizada preocupación por mejorar las condiciones de vida en las ciudades, para poner coto al deterioro global que se observa, buscando establecer relaciones más equilibradas de las ciudades con su entorno rural (J.M. Naredo, 1991). En otras palabras, que el propósito hoy de moda de hacer que la especie humana se apoye sobre bases económicas más «sostenibles», induce a preocuparse no sólo de mejorar el medio ambiente urbano a base de tirar de la cadena de lo WC y de enviar lejos los residuos, sino también a preocuparse de nuevo por superar la lógica de los copépodos arriba mencionada, buscando la manera de cerrar en ciclo de materiales, en general, y de nutrientes y materia orgánica en particular. Tema éste que tiene especial importancia en nuestro país, al predominar las zonas áridas con penuria de agua y de materia orgánica en los suelos, a diferencia de lo ocurrido en los países situados al norte de los Pirineos (a los que el modelo londinense se adaptaba mucho mejor al abundar en ellos el agua y la materia orgánica en los suelos).

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

(por orden de aparición en el texto)

NAREDO, J.M., 1987: *La economía en evolución*, Siglo XXI, Madrid.

GEORGESCU-ROEGEN, N., 1978: «Process in farming versus process in manufacturing», *Energy and economic myths. Institutional and*

analytical essays, Pergamon, New York.

NAREDO, J.M. y LOPEZ-GALVEZ, J., 1994: «Información técnica y gestión económica del uso del agua en los regadíos españoles», en prensa en *Revista de Estudios Agrosociales*.

MIRABEAU, 1958: *Philosophie rurale*, cap VII, en *François Qesnay et la Physiocratie*, INED, Paris.

NAREDO, J.M., 1983, «La crisis del olivar como cultivo 'biológico' tradicional», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.

FERNANDEZ-LATORRE, A., 1927: *El cultivo del olivo en la provincia de Sevilla*, Sevilla.

LOPEZ-GALVEZ, J., 1991: *Productividad de la judía verde sobre enarenado bajo invernadero en Almería*, Tesis Doctoral presentada en la IESIA de Madrid, FIAPA.

MATILE, P., 1973: «Enviromental problems and agriculture», *Wasser u Awasser*, julio 1973, supplement.

ARMAN, K., 1983: «Una agricultura alternativa», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.

VOGTMANN, H., 1983: «La calidad de los productos agrícolas procedentes de diversos sistemas de cultivo», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.

BANCO DE CREDITO AGRICOLA, 1991: Subdirección de Estudios, «Sobre la relación calidad-precio de los productos 'ecológicos'», *La agricultura ecológica*, Cuadernos del BCA, n.º 3.

LOPEZ-GALVEZ, J., DIAZ-ALVAREZ, J.R., NAREDO, J.M. et al., 1994: *Primeros resul-*

tados del programa de investigación dirigido a comparar el-enarenado frente a los sustratos en los invernaderos de Almería, Cuadernos de Divulgación, Serie Monografías sobre proyectos, n.º 11, FIAPA, Almería.

SOLIS, C., 1990: *Los caminos del agua*, Modadori, Madrid.

VON LIEBIG, J., 1840: *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, Brunswick.

McNEIL, W., 1984: *Plagas y pueblos*, Siglo XXI, Madrid.

NAREDO, J.M., 1991: «El crecimiento de la ciudad y el medio ambiente», en *Las grandes ciudades: debates y propuestas*, Economistas Libros, Colegio de Economistas de Madrid.

ILLICH, I., 1989, *H₂O y las aguas del olvido*, Ed. Cátedra, Madrid.

STANHILL, G., 1977: «An urban agroecosystem: The example of nineteenth century Paris», *Ecosystems*, n.º 3.

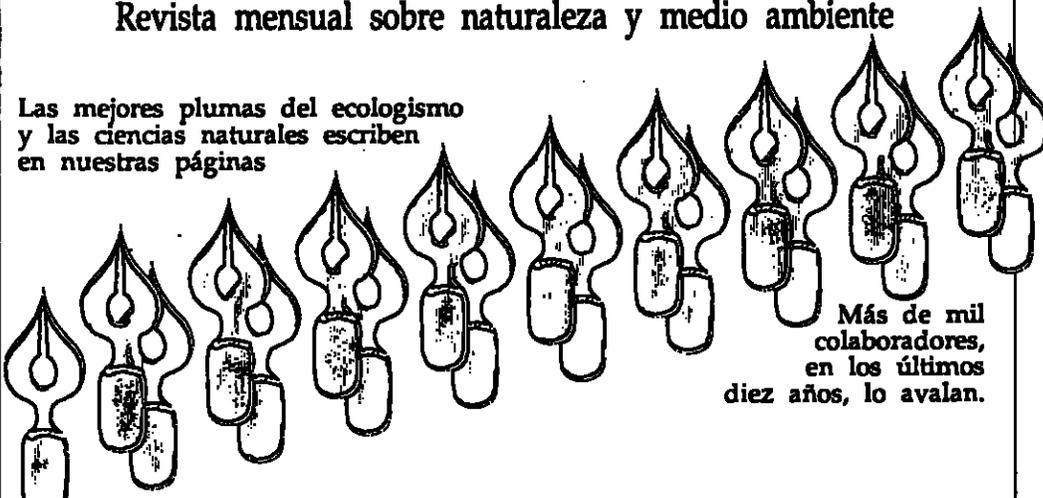
KAUTSKY, K., 1900: *La question agraire. Etude sur les tendances de l'agriculture moderne*, V. Girard & Brière, Paris (Reproducción facsimil de Maspero).

MARGALEF, R., 1980, *La biosfera*, Ed. Omega, Barcelona.

Quercus

Revista mensual sobre naturaleza y medio ambiente

Las mejores plumas del ecologismo y las ciencias naturales escriben en nuestras páginas



Más de mil colaboradores, en los últimos diez años, lo avalan.

c/ La Pedriza, 1 - 28002 Madrid / Precio de la suscripción por 12 números: 3.900 ptas.