

El vaciamiento de las Pampas

**La exportación de nutrientes
y el final del granero del mundo**



Walter Alberto Pengue

Andrea F. Rodríguez (Revisora)

2017
Buenos Aires y Santiago

DISTRIBUCIÓN GRATUITA

El vaciamiento de las Pampas

**La exportación de nutrientes
y el final del granero del mundo**

Walter Alberto Pengue

Andrea F. Rodríguez (Revisora)

EL VACIAMIENTO DE LAS PAMPAS

La exportación de nutrientes y el final del granero del mundo

Walter Alberto Pengue
Andrea F. Rodríguez (Revisora)



Obra de Distribución Gratuita
Fundación Heinrich Böll Stiftung
Avenida Francisco Bilbao 882
Providencia
Santiago de Chile
Tel.: + 56 -2- 2584 0172
e-mail: info@cl.boell.org

Diseño Gráfico e Impresión: Jorge Roque M., Santiago de Chile.

Esta obra se basa en los resultados del Proyecto **“Los Recursos de Base y el ‘Suelo Virtual’: Suelos y Flujo de Nutrientes en la Agricultura”**, investigación desarrollada por el Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente GEPAMA, de la Universidad de Buenos Aires, con el apoyo de la Fundación Heinrich Böll Cono Sur. El estudio fue dirigido por Walter Alberto Pengue (GEPAMA, FADU, UBA, UNGS) con la colaboración de Andrea Rodríguez (GEPAMA, FADU, UBA).

Buenos Aires, octubre 2017

INDICE

Introducción	
La agricultura industrial y la presión sobre los recursos	7
Capítulo 1	
Hacia una comprensión del sistema rural y sus complejidades	11
Capítulo 2	
El metabolismo de las sociedades	21
Introducción	21
Los recursos de la tierra. Origen	23
La sociedad moderna y los recursos	23
Desarrollo, interdependencia y complejidad	33
Capítulo 3	
Suelos, nutrientes y ciclos	43
Tectónicas y formación	43
Diferentes tipos	44
Los ciclos biogeoquímicos (Ciclo de los nutrientes)	45
Aspectos generales de un ciclo	46
Macronutrientes y ciclos	49
La formación de los suelos	51
Perfil del suelo	52
El suelo	54
El suelo y la tierra	54
Las ecorregiones argentinas y los cambios en el Uso del Suelo	57
El ciclo del nitrógeno	59
El ciclo del fósforo	63
El ciclo del potasio	65
Micronutrientes y oligoelementos	66
Ciclo del hierro	66
Ciclo del magnesio	67
Ciclo del zinc	67
Ciclo del cobre	67
Ciclo del boro	68
Ciclo del molibdeno	68
Ciclo del cobalto y el cloro	68

Capítulo 4	
El agotamiento de un recurso escaso: el suelo	69
Los suelos del mundo y los de América Latina ¿Hacia la desaparición de los mejores suelos del mundo?	69
Relaciones con la producción	71
Degradación y acciones humanas	73
La intensificación del modelo agrícola y las nuevas demandas	73
Suelos y economía	76
Las externalidades de la nueva agricultura	78
Sobreexplotación de los suelos: la agricultura minera	80
Bajo la pampa argentina, descansa un futuro desierto	82
Capítulo 5	
El vaciamiento de la Caja de Ahorros Natural	85
El flujo de materiales	85
El flujo de materiales y los diferentes procesos	87
El suelo virtual	89
Nutrientes y agricultura minera	89
La soja y la extracción de fósforo	102
Mapas y extracción	105
Reposición por fertilizantes	111
Capítulo 6	
Los intangibles ambientales	117
Los Materiales de Base y sus Flujos	117
Metodologías aplicadas al manejo de los suelos	118
Intangibles ambientales y formas de valoración	119
¿Qué es un intangible ambiental?	121
Capítulo 7	
El flujo mundial de nutrientes y la producción primaria	123
Desarrollo de casos por producto	123
Agricultura y globalización	123
Mapa mundial del flujo de nutrientes en la agricultura	125
Forestación	130
Ganadería	131
Exportación de nutrientes en las maderas argentinas	139
Capítulo 8	
Integración vertical y redes	141
Reprimarización, integración de cadenas y redes de exportación	141
Áreas petroquímicas y complejos productivos	147
Consumo de fertilizantes	151
Flujo del comercio internacional de fertilizantes y Argentina	152
Conclusiones	159
Recomendaciones	169
Bibliografía	177
Índice de Acrónimos	187

Introducción

La agricultura industrial y la presión sobre los recursos

Desde Argentina, la agricultura industrial es mostrada hacia el mundo, como el emergente de un exitoso conjunto de interacciones tecnológicas, financieras, de capacidades construidas y optimización en el uso de los recursos naturales. Se dice que la llamada “segunda revolución de las Pampas” ha significado una conjunción positiva de factores tecnoproductivos en la historia agrícola moderna argentina. Pero esta combinación de prácticas de manejo agronómico como la siembra directa, el uso de organismos genéticamente modificados y la utilización de una carga creciente de agroquímicos, en especial, herbicidas (particularmente glifosato) no incorpora en sus cuentas las externalidades que el mismo modelo genera. Además, esta agricultura, insustentable en el sentido amplio del término, lleva a cambios sociales, económicos, ambientales y logísticos profundos que restringen seriamente la estabilidad de los sistemas rurales, urbanos y ambientales.

La transformación de actividades, la llegada de nuevas tecnologías y de entidades con grandes capacidades financieras y tecnológicas; el desplazamiento de cientos de miles de agricultores de pequeña y mediana escala y su reasignación a nuevas funciones productivas, no sólo están afectando la sostenibilidad social del sector rural, sino también las periferias urbanas y periurbanas de pueblos y ciudades localizadas en la Llanura Chaco-pampeana.

A pesar de estas fuertes transformaciones, un componente esencial que atenta contra la estabilidad del propio sistema rural argentino (y de hecho latinoamericano), se relaciona con los intensos cambios en el uso del suelo y por el otro lado, está ligado a la creciente salida de nutrientes y degradación de los suelos de la planicie chacopampeana, poco considerada en cuanto a la estabilidad agroecosistémica del modelo. Ello es extrapolable a toda la Cuenca del Plata.

La extracción de estos “intangibles ambientales” (que se van con los granos) y por otra parte, la pérdida de nutrientes (que se van con la erosión hídrica y eólica), afectarán en forma directa la estabilidad del propio sistema como tal, y la geopolítica del territorio transformado. Ello desemboca en una coyuntura poco y pobremente revisada por los responsables de políticas públicas rurales, ambientales y sociales, quienes solo se concentran en el lucro inmediato, sin analizar en profundidad los impactos generados.

La propuesta globalizadora de la agricultura industrial genera un desbalance importante, en especial sobre los flujos de nutrientes que se están moviendo en los distintos subsistemas.

De esta forma, mientras en una parte de la cadena se produce una extracción minera de los principales elementos del suelo, del otro lado - en los lugares donde se consumen alimentos y fibras- se acumulan residuos derivados, produciendo problemas de contaminación.

A finales de la década de los noventa, el flujo neto mundial de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) en el comercio internacional de los commodities agrícolas rondaba los 5 Tg¹. Este es el momento en que Argentina inicia su paso desde una agricultura de baja intensidad hacia una fuertemente extractiva, sin reposición natural o artificial y con una creciente demanda de insumos y energía. Este gran movimiento de NPK se estima llegará a duplicarse (10 Tg) en el año 2020, variando ampliamente entre regiones, pero asumiendo que para el caso argentino, será directamente creciente y altamente extractivo, completado solo con una reposición de nutrientes sintéticos, y básicamente insustentable.

Las regiones “importadoras” de NPK y otros nutrientes, son en especial, la Unión Europea, Asia Occidental, África del Norte y China, mientras que los exportadores son de hecho los principales exportadores de biomasa como los Estados Unidos, Australia, Brasil, Argentina y en estos últimos tiempos la Unión Europea.

La escala en que se está planteando la situación a nivel global y regional, supera el mero abordaje de la contabilización agronómica para convertirse en un problema geopolítico y de seguridad alimentaria global.

No han sido pocas las sociedades que a lo largo de la historia, finalizaron sus períodos como civilización, cuando degradaron los recursos de base (tierras, suelos, agua, biodiversidad), sobre los que se habían nutrido, crecido y desarrollado.

Por ello, es imperativo considerar el funcionamiento de estas economías en el marco de una revisión global de los intercambios y flujos materiales bajo el foco de un metabolismo social que incluya indicadores biofísicos y bio-geoquímicos de sustentabilidad. Este análisis debe considerar otros componentes, tales como el adecuado cálculo de los ciclos de vida, el agua virtual, tierra y suelo virtuales disponibles. Acceder a esta visión integral ayudará al mundo a comprender la irracionalidad de la presión y sobreexplotación de los mejores suelos en el mundo, y la exposición de regiones enteras junto con la afectación de la seguridad ambiental y alimentaria local, regional y global a la que nos estamos exponiendo como sociedad.

Finalmente, es importante asumir, que estos suelos, considerados los mejores del mundo por su calidad y estabilidad productiva, son la “canasta de alimentos” de la humanidad. Y hoy solo están siendo considerados para el incremento de

la biomasa demandada en el mercado internacional, ayudando a construir una creciente deuda ecológica con las economías exportadoras de los países del mundo subdesarrollado. Existe entonces una creciente deuda por nutrientes que el mundo desarrollado no incorpora en sus cuentas de balances, costos y beneficios.

Por ello, además de ayudar a comprender las propuestas vinculadas a los flujos y balances de nutrientes, es importante asumir la necesidad de adoptar medidas políticas en las distintas escalas, para administrar de una forma más armónica estos recursos que son vitales para la población mundial en su conjunto.

Capítulo 1

Hacia una comprensión del sistema rural y sus complejidades

*Sobre Jorge S. Molina:
"Fue un notable argentino,
de irreductible integridad ética, que amó a costa de su salud
y el bienestar de su familia la cruzada por la conservación del suelo,
fundamento de la vida humana."
Ing. Agr. Domingo Cozzo
(Buenos Aires, Setiembre 14, 1998).*

El ritmo del crecimiento económico mundial es más acelerado que la propia expansión de la especie humana. Mientras entre 1950 a 2010 el PBI mundial pasaba de 10 a 80 trillones de dólares, la población humana lo hacía desde los 3.000 a los poco más de 7.000 millones, lo que equivale a decir que mientras la economía global se multiplicaba casi ocho veces, la población del mundo solamente se duplicó.

La economía y su consumo (**consumismo**) de materiales, energía, agua y recursos naturales crecen mucho más que la propia expansión de la especie humana.

Para alcanzar ese nivel de consumo creciente e intenso, fue necesaria una enorme transformación de los recursos naturales, que conllevó a una economía marrón que crecía en paralelo con el incesante aumento de costos ambientales y sociales.

Fue a través de ese crecimiento económico que se generaron cambios importantes y fuertes presiones sobre los recursos de base (tierras, suelos, agua y biodiversidad) y sobre los intangibles ambientales que prácticamente nunca entraron en las cuentas de ganancias y pérdidas de las contabilidades nacionales.

La humanidad necesita y consume de manera permanente, recursos naturales. Los estilos globales de crecimiento están generando una enorme presión sobre todos los ecosistemas del planeta. Hoy, si el mundo pretendiera alcanzar el mismo nivel de consumo que el de occidente más desarrollado, serían necesarios varios planetas (¡que no tenemos!) para poder abastecer esa demanda.

Además esa demanda se concentra en las ciudades, que son los principales espacios donde se consumen los recursos. Las ciudades arrastran más del 80 por

ciento de los recursos energéticos y el 75 % de los materiales. Consumen y degradan recursos hídricos y biodiversidad al extender su huella ecológica, de carbono, hídrica y de materiales, mucho más allá de sus límites.

La importación de tierras es otro efecto importante de esta enorme transformación de la economía mundial. Cuando la humanidad consume productos, también está consumiendo tierras en otros países (FHB 2015). Europa es el continente que más depende de las tierras localizadas fuera de sus fronteras. La huella ecológica de la Unión Europea se estima en 640 millones de hectáreas por año, que representa un área igual a 1,5 veces la superficie de sus 28 estados miembros (FHB 2015).

Ocupar tierras de unos países sobre otros, a través del comercio, es una estrategia que ha dado resultados a través de la creciente valoración de los precios relativos de las materias primas (ahora en caída nuevamente).

A este uso de las tierras se suma el de los nutrientes contenidos primeramente en ellas y luego extraídos en los cultivos. Carnes, leches, maderas y demás materiales exportables salen de los países productores en barcos Panamax y ahora incluso más grandes. Ello es equivalente a millones de toneladas de tierra cargadas anualmente en las bodegas de estos barcos y descargadas del otro lado del mundo.

Ciertamente, la humanidad está comenzando a intentar reciclar muchos de los elementos que necesita para su desarrollo y crecimiento. Se hace necesarios tomar del propio entorno muchos otros elementos. Cuando estos no respetan los ciclos naturales ni los ciclos biogeoquímicos de los elementos, se incrementa la presión sobre los sistemas.

A este metabolismo social expandido que el mundo enfrenta, se suma el flujo de lo que llamaremos elementos de base para la producción de distintos nuevos productos, sean para la agricultura, la industria, la infraestructura o el consumo.

Entre finales de los noventa y la década actual, el flujo neto de nutrientes de base (NPK y otros) se ha duplicado mundialmente, pasando de 5 Tg a poco menos de 10 Tg, según las proyecciones estimadas para el movimiento agrícola industrial global.

El flujo de elementos y nutrientes se produce en general por tres procesos: el flujo de nutrientes derivado del movimiento de materiales arrastrados por el agua o el viento (incluidos los procesos de erosión); el flujo de nutrientes que se movilizan con las distintas especies, en especial a grandes distancias, como los casos del salmón, la gran migración y otras, y el flujo de nutrientes derivado de la extracción en granos, carnes, maderas, huevos y otros. En otra escala, la actividad volcánica, ha aportado stock y flujo, a lo largo de los distintos ciclos geológicos.

A ello se suma, la enorme demanda de elementos utilizados en la conversión para la actividad industrial, en especial, en este período. Ello ha llevado a algunos autores a remplazar el nombre del período Holoceno, por **Antropoceno**.

Actualmente, un número importante de metales (ferrosos, no ferrosos, preciosos y especialidades) comienzan a ser seriamente evaluados en procesos de reciclaje y reconversión. En las sociedades modernas, tanto las tierras de relleno sanitario como las ciudades se muestran como las “mineras del futuro” (Resource Panel 2011, Pengue 2013). Por ejemplo, el hierro es un constituyente del acero que es por lejos, el principal metal consumido globalmente. En 2009 más de 1.200 millones de toneladas de acero se produjeron mundialmente, con una demanda creciente en especial en las economías en desarrollo y en China. Otros metales ferrosos como el vanadio, cromo, níquel acompañan estos tipos de acero y superconductores producidos.

El aluminio, un elemento no ferroso, es utilizado principalmente en la construcción y el transporte y ha sido el segundo producto producido mundialmente con más de 30 millones de toneladas por año. El cobre es el tercero en cuestión, con alrededor de 24 millones de toneladas (en 2007). Su demanda crece en tanto es uno de los principales conductores de electricidad y calor.

El hierro, el aluminio y el cobre son al crecimiento y desarrollo urbano y civilizadorio como el nitrógeno, el fósforo y el potasio lo son para la producción agropecuaria mundial. Con los primeros crecen las ciudades y la industria, y con los segundos, aumenta la agricultura industrializada.

La humanidad “se come”, más de una tercera parte del plato mundial de la producción de biomasa de todo el planeta. Antes, esta producción se distribuía más equilibradamente entre todas las especies del globo. Además del drástico cambio en el uso del suelo, el resultado se refleja en la pérdida importante de la diversidad biológica, que cuenta con menos territorios y menos alimentos.

En América Latina, la transformación de recursos naturales es notable. En Argentina, entre 1970 y 2009 la extracción de materiales pasó de 386 millones a 660 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento superior a la de la población del país. Esto significa que el aumento en la extracción de materiales no está impulsado por el consumo doméstico (interno en sí mismo) sino fundamentalmente por la exportación de commodities (agricultura, forestal, ganadería, energía y minería). En comparación con otros países exportadores de la región, Argentina tiene la mayor extracción de materiales per cápita: 16.46 ton/cap. Colombia tiene un extracción per cápita promedio de 8.3 ton/cap (Vallejo et al. 2011) y Ecuador de 7.4 ton/cap.

La biomasa representa el 70% del flujo material, y se compone en un 71% por las pasturas y alimentos para el ganado, en un 2% por pesca y extracción maderera y en un 27% por cultivos.

Siendo la biomasa un producto muy importante en las cuentas de exportación de las economías latinoamericanas y en especial de Argentina, es llamativo que desde las políticas públicas, como también desde la investigación más integral que incumbe a los territorios, se haya prestado menor atención a los impactos y procesos que derivan en la cancelación de relevantes prestaciones ambientales. Entre estos impactos están los efectos sobre los ciclos biogeoquímicos y la contribución de Argentina y de la demanda mundial a estas alteraciones. Asimismo en un país que basa su desarrollo en el sector agropecuario, no hay reflexión sobre los efectos de contar con un territorio de altísima calidad productiva que es a la vez muy susceptible a las transformaciones.

Por otro lado, en Argentina, un 37.5 % del territorio (unos 105 millones de hectáreas) está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica, que movilizan a su vez, millones de toneladas de nutrientes.

En el último cuarto de siglo, fue la erosión hídrica la que más creció, pasando de 30 a 64,6 millones de hectáreas, lo que significa por otra parte, que la erosión eólica está alcanzando ya los 41 millones de hectáreas. Ambos procesos, son disparados especialmente por cuestiones antrópicas.

A su vez, las regiones áridas y semiáridas del país, que cubren alrededor del 75%, albergan ecosistemas frágiles, vulnerables a la desertificación. Un 10% de la superficie de estas regiones, que abarcan el oeste y sur del territorio nacional, se ve afectado por una desertificación clasificada como muy grave, mientras que en un 60% ésta es de moderada a grave, a causa del pastoreo excesivo y el sobreuso de los recursos naturales.

La apertura de la frontera norte de Argentina para la producción sojera, ha derivado en un proceso de deforestación, erosión y desertificación, muy notable en el particulado grueso que puede verse por doquier, en los campos abandonados actualmente por la agricultura industrial más intensiva (Ver Pengue, W., 2015, Ediciones Böll).

Entre las principales causas del aumento de los procesos erosivos, se encuentran los de origen antrópico, tales como la pérdida de las rotaciones agrícola-ganaderas y su concentración sólo en la agricultura y el monocultivo; el desmonte de millones de hectáreas convertidas a la agricultura (agriculturización); la expansión de la frontera agropecuaria (pampeanización), y la degradación en el periurbano, conurbaciones, áreas de transporte, logística y puertos que derivan en un intenso proceso de cambio de uso del suelo. A ello se suman la quema de pastizales y montes (que es también la "quema" de la materia orgánica y los nutrientes), y los fuertes procesos de geofagia que destacaba Jorge H. Morello, que comen tierra agrícola en beneficio de la expansión urbana incontenible sobre las mejores tierras agrícolas del mundo.

Las nuevas tecnologías en agricultura y la intensificación y recurrencia de las mismas, sumadas a la difusión del sistema de siembra directa en la llanura pampeana, de alta productividad, se implementaron en forma exponencial desde principios de la década de 1990. Ello permitió por un lado, mejorar la calidad en algunos nutrientes de los suelos (como el carbono, por ejemplo) gracias a un efectivo control de la erosión, al incremento de la materia orgánica del suelo y un mejor aprovechamiento del agua pluvial. Al mismo tiempo facilitó un proceso de agriculturización que dio cuenta de mayores problemas de compactación de suelos, aceleración de ciclos agrícolas, extracción selectiva y recurrente de nutrientes y cambios en las poblaciones de las plagas y las enfermedades.

En los últimos años se ha producido una simplificación de los sistemas productivos pampeanos y extrapampeanos, con un paulatino remplazo de las rotaciones tradicionales por el monocultivo, en especial de soja, seguida por el maíz. Ello genera preocupación debido a su impacto desfavorable sobre las funciones del suelo y la sostenibilidad del agroecosistema.

Más al sur del país y hacia el oeste, en las regiones áridas y semiáridas de la Argentina, la desertificación es un problema ambiental y socio-económico que se desarrolla bajo climas con una severa escasez de agua, afectando negativamente a regiones con recursos naturales muy limitados en suelo, agua y cobertura vegetal, como la Patagonia o el Pedemonte de las regiones montañosas. También es muy notable la degradación de los recursos naturales de la Región centro-oeste del país que afecta a las provincias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y el oeste de La Pampa. El desmonte de los bosques secos, el sobrepastoreo extensivo de bovinos, ovinos y caprinos y el uso del fuego sobre las formaciones del monte y el espinal, han provocado la destrucción de la cubierta vegetal con incremento de los procesos de erosión y desertificación. La expansión de la frontera agropecuaria a zonas marginales de fragilidad ecológica ha ocasionado la degradación de los recursos naturales, con pérdidas cuantiosas de biodiversidad.

Argentina se enfrenta entonces a una complejidad creciente en su sistema agroproductivo que impactará fuertemente sobre el país. Es necesario considerar los cuatro procesos simultáneos que afectan a este gigante con pies de barro: el cambio de uso de la tierra, la pérdida de fertilidad de sus suelos, la integración horizontal de las cadenas proveedoras de insumos básicos (minería y petroquímica) y el fortalecimiento de la logística de transporte y puertos.

En Argentina, el cambio de uso del suelo es resultado en especial de las presiones de la deforestación. FAO ha informado que en 1990 Argentina tenía 34,7 millones de hectáreas de bosques naturales y ahora, 25 años después, esa cifra se redujo a 27,11 millones de hectáreas. Es decir, en un cuarto de siglo el país perdió el 22 % de sus bosques, unas 7,6 millones de hectáreas.

Mientras el mundo desarrollado, propone "ahorrar" año a año las hectáreas destinadas a la producción de biomasa, los países en vías de desarrollo, en especial los de América Latina, sostienen la vieja perspectiva de que la transformación de bosques y selvas, y su conversión en tierras agrícolas es una oportunidad que no deben perder. Aunque es evidente que hay ecorregiones enteras sin suficiente estabilidad como para soportar la transformación agrícola intensiva que se propone, esa perspectiva no cambia.

El mencionado proceso de **geofagia** que implica importantes cambios de presiones desde lo urbano a lo rural, de lo rural a lo natural y la concentración en la monocultura, se está dando en las principales ecorregiones del país (Pampas, Chaco y Espinal).

En Argentina, la pérdida de nutrientes del suelo ha sido un proceso que durante muchos años pasó desapercibido. Incluso cultivos importantes como la soja, soslayaron por muchos años este proceso que hoy tiene ya en una ventana de riesgo a la sustentabilidad y estabilidad de la economía productiva de la Argentina. Por ejemplo, la soja extrae hasta 16 nutrientes diferentes entre los macro, oligo y microelementos (13 son calculados y evaluados de manera sistemática).

Potenciar el agronegocio por un lado y pensar que todo se puede reponer con fertilizantes sintéticos es una simplificación grave que conlleva a inestabilidad ecosistémica, de alto riesgo para la producción nacional.

Argentina está enferma: su proceso de concentración en la agricultura y el abandono de las rotaciones, han llevado al país a una anemia por nutrientes que es importante revertir.

Entre 1970 y 2015, solo considerando el cultivo de soja que representa prácticamente el 95 % de toda su producción exportable, Argentina exportó casi 60.000.000 de toneladas de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Bo, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn). Se exportaron casi 6.000.000 de toneladas de fósforo, cuya movilidad y disponibilidad es muy limitada en el país.

Este es un flujo que hasta ahora, no ha sido adecuadamente percibido por la economía ni por la sociedad. Es un Intangible Ambiental que debería ser claramente contabilizado y además ponderado en las discusiones e intercambios internacionales, pues esconde una sobreexplotación y devaluación de un recurso vital.

Estos nutrientes de la tierra, convertidos en granos, fluyen en la agricultura argentina, se cargan en los barcos y recorren el mundo allende los mares, para ser consumidos en otros territorios, convirtiéndose en "Suelo Virtual".

**Barcos graneleros esperando turno de carga sobre el Río Paraná.
Llegan descargados (Observar esloras)
Frente a los puertos de la ciudad de Rosario**



Fuente: Pengue, W. (2015).

La exportación de suelo virtual atenta directamente contra la estabilidad ecosistémica y productiva de los países proveedores de biomasa, en especial alimentos.

La reposición vía fertilización sintética es un doble costo generado a la agricultura, con su consiguiente impacto ambiental y social y la degradación de la base misma de la producción. El exceso en la aplicación de varios fertilizantes sintéticos genera nuevos problemas y procesos, con costos crecientes a la producción.

El proyecto de producción agropecuaria en Argentina está orientándose hacia andariveles de una creciente intensificación agroproductiva. Esta intensificación se basa en el aumento del consumo no sólo de energía, sino de materiales, en especial insumos hacia el sector, provenientes de la petroquímica, la minería y la construcción de infraestructura específica.

Existe por tanto, una integración horizontal de las cadenas proveedoras de insumos básicos a la agricultura, que en el último quinquenio se marca con un nuevo incremento en el consumo de fertilizantes.

Entre 1990 y 2014 la Argentina consumió un total estimado de 50 millones de toneladas de fertilizantes sintéticos. En el periodo de 1990 al 2001 prácticamente todos los fertilizantes eran importados. A partir del año 2002, el porcentaje entre importado y producción nacional, pasa a rondar el 60 % para el fertilizante importado y el 40 % en la producción local. La producción local sigue creciendo actualmente, y

las plantas de producción se asientan en el corredor Buenos Aires – Rosario-Santa Fe, la rivera productiva y de transformación sojera más grande del mundo.

Las enormes transformaciones de la infraestructura logística y portuaria potencian simplemente la salida de materias primas a través de los puertos argentinos. Actualmente Argentina enfrenta un proceso de transformación portuaria, logística y de transporte en general que, en lugar de promover una integración transversal de pueblos y ciudades, lo hace en especial, centralizando la salida de materiales por sus puertos más importantes, en especial, en el ya mencionado corredor de Rosario-Santa Fe (Ver Mapa siguiente). A ello se suman el aumento del calado de Hidrovía Paraguay-Paraná y el Proyecto Norte-Grande, que ayudarán a abrir más la frontera de extracción en las zonas más sensibles del país.

Logística y transformación portuaria en la zona de Rosario-Santa Fe Ubicación de Terminales y Kilometrajes de cada puerto



Fuente: PICT 1636 – Transformaciones metabólicas en la Cuenca del Plata (Fernández, L. 2013).

La apertura de estas infraestructuras da cuenta de otros procesos importantes como las ya mencionados: pampeanización y la agriculturización.

La pampeanización es la exportación del modelo intensivo pampeano hacia otras ecorregiones que “no son pampa”, como el Chaco y el Espinal, generando

una extracción diferencial de nutrientes muy importante en regiones mucho más sensibles a la erosión hídrica y eólica. Esos costos se pueden ver con claridad en el norte argentino (Pengue, 2015). El otro proceso, el de agriculturización, tanto o más dañino, conlleva al abandono del ciclo de rotaciones agrícola-ganaderas, generando una agricultura continua, en especial con soja, en la región pampeana y extrapampeana.

Un artículo en *Le Monde Diplomatique*, llamado “*El vaciamiento de las pampas, intensificación, agroexportación y degradación de recursos*” (Pengue, 2003) daba cuenta en especial de un primer alerta y preocupación sobre lo que ya se dejaba entrever en la Argentina respecto de su modelo de extracción y exportación de recursos.

El artículo fue respondido con singular vehemencia, dedicación y un cúmulo de contradicciones flagrantes, por la cúpula *in nata* de los promotores del modelo industrial agrícola en la Argentina, con el título de “*El resurgimiento de las Pampas*” (Truco, V., 2003). Pretendía refutar punto por punto lo allí dicho con respecto a la pérdida de nutrientes, la aparición de malezas, y los problemas vinculados con la intensificación agrícola. Trece años después, los impactos allí mencionados son simplemente una píldora de muestra de lo sucedido, y responden a una verdad absoluta imposible de soslayar. Son impactos que seguirán dándose en la agricultura industrializada argentina, si esta sigue siendo manejada como una agricultura minera y de manejo anti ecosistémico.

El problema demanda de una serie de políticas institucionales en distintas escalas, de lo global a lo local, que lleven a la incorporación de las Cuentas de Nutrientes, Flujo e Intercambio de Nutrientes, promoción de Políticas Ambientales serias (es decir con el mismo peso e interés gubernamental que el puesto para la intensificación productiva insustentable), la incorporación de los costos económicos y sociales de estas externalidades y la consideración del manejo de los nutrientes en una escala de políticas hasta hoy no desarrollada.

Capítulo 2

El metabolismo de las sociedades

“La alimentación y la agricultura son el frente y la espalda de un mismo cuerpo.”
Masanobu Fukuoka

La base de la agricultura mundial son sus suelos. Los suelos son la canasta de alimentos más completa y diversa de la humanidad. De su funcionamiento, estabilidad, uso más eficiente, administración, vinculación con los nuevos escenarios de cambio climático y global y gestión sustentable, depende la provisión actual y futura tanto de los alimentos como de todas las materias primas que, el hombre obtiene en las áreas terrestres para su sustento y la mejora de su calidad de vida.

No obstante ello y particularmente desde la últimas décadas, el comercio y la intensificación mundial del mismo, han puesto una presión sin precedentes sobre las estructuras y su calidad, conjuntamente con un cambio de uso de suelo sin precedentes.

El cambio climático y el cambio ambiental global, agregan una presión adicional importante sobre la estabilidad de estos “recursos de base” y su proyección futura de uso sustentable.

El mundo comienza a pensar sus flujos y necesidades no sólo en términos de valor económicos sino particularmente en cuanto a sus flujos de materiales y energía. Mucho se ha avanzado particularmente en cuanto a los estudios de Metabolismo Social y *Material Flow Accounting*. Se ha reflejado entonces, un estimador de flujos de masas (materiales, energía, biomasa, minerales, metales, agua), que da una cuenta inicial de lo que está sucediendo. La perspectiva del metabolismo (tasas y flujos metabólicos), implementada por autores como Marina Fischer Kowalski, o el Panel de los Recursos (UNEP 2012), es conocida y aplicada en América Latina pero adolece aún del enfoque de sumar a este análisis, la integralidad del estudio de lo que sucede con los Recursos de Base, particularmente el suelo y de sus relaciones actuales y futuras con las transformaciones generadas por el cambio climático en la Región.

Muy poco se ha analizado aún lo que está sucediendo con los procesos de producción/explotación de los suelos y su estabilidad, conjuntamente con los flujos de ingreso/egreso de materiales con cada cosecha de granos, cereales, oleaginosos,

maderas, carnes, cueros y productos que saliendo de la escala local, ingresan al comercio internacional.

Los suelos son base de la producción. Esto es válido tanto para aquellos de mayor calidad y capacidad de uso como para los que por su propia formación y estructura, pueden ser de una menor productividad y se están deteriorando rápidamente. Pero igualmente son importantes para millones de personas en las áreas marginales del planeta. Sin embargo, en la práctica y más allá de su productividad, ambos no son reconocidos por su valor integral. Tampoco son contabilizados adecuadamente dentro de una política verde sustentable. Comprender, validar y particularmente cuantificar estos flujos de salida, sus proyecciones y escenarios vinculados a los cambios ambientales globales y climáticos, representa un ejercicio trascendente para la agricultura latinoamericana y la argentina. Esta es una evaluación orientada a una de las más promisorias agriculturas del mundo, la cual es también una de las más amenazadas por la intensificación y las prácticas insostenibles.

El objetivo principal de esta investigación, ha sido contar con un estudio prospectivo sobre los flujos de materiales de los recursos de base (granos en los nutrientes y sus relaciones con la estructura de los mismos); la valoración de los intangibles ambientales involucrados y sus relaciones con una política global y nacional de sustentabilidad en el uso de los recursos, que visibilice a recursos que hoy proveedores y consumidores, mantienen pobremente evaluados.

La pérdida de nutrientes de los suelos responde en general a dos fenómenos que lógicamente pueden integrarse y potenciarse. Primero, responde a un proceso de transformación y cambio en el uso del suelo que impacta sobre las formas y utilización y de hecho en su potencialidad. Ello va de la mano de una intensificación agrícola y ganadera que apunta a una agricultura de extracción y exportación lejana. Se trata de un efecto derivado de una fuerte actividad antrópica.

Cuando los procesos de producción aumentan y se concentran en pocos cultivos y espacios para una vida sana de los animales (monocultura sojera y *feedlots*), esta intensificación de la agricultura y de la ganadería produce una alarmante “**anemia del suelo**”.

Un segundo proceso natural o de derivación física generada por actividades antrópicas, es la erosión y degradación de nutrientes importantes que se pierden por medio de su circulación a través de las cuencas. El caso de la boca de la Cuenca del Río de la Plata, muestra cabalmente esta pérdida anual física de materiales que discurren a través de los ríos que integran esta cuenca.

Orígenes de los recursos de la tierra

La tierra es la nave espacial a través de la cual la humanidad navega en el universo. Por medio de este elemento vital y gracias a este, se ha permitido una evolución, transformadora y permanente de todas las especies en el planeta. La tierra no necesita de la humanidad para su supervivencia. Seguirá su crecimiento, desarrollo y transformación, exista o no la especie humana. Sin embargo, para simplemente existir, al menos, en las escalas masivas en que actualmente lo hace, la actual civilización humana necesita invariablemente de la tierra y sus recursos. No obstante existen interacciones, intercambios y transformaciones entre una y otra.

La tierra se formó hace unos 4650 millones años atrás. Las rocas más antiguas de la tierra que se conocen marcan un edad de 3750 millones de años.

La superficie de los continentes ocupa tan sólo el 29 % de la superficie, constituyendo la hidrosfera, una masa de agua dinámica, el 71 % restante. El 97% de la hidrosfera es agua salada y el 3 %, dulce. La vida, en general, discurre en todas las superficies continentales e insulares del planeta sobre unos 15×10^6 Km² (poco menos de 14.900.000.000 de hectáreas).

La biosfera incluye a toda la vida en la Tierra. La vida oceánica está concentrada en las aguas superficiales del mar iluminada por el sol. La mayor parte de la vida en la Tierra está concentrada también cerca de la superficie, alcanzando las raíces de los árboles y los animales excavadores unos pocos metros bajo tierra, y los insectos voladores y los pájaros, un kilómetro más o menos en la atmósfera (Tarbuck, Lutgens y Tasa 2013).

La sociedad moderna y los recursos

Tanto la corteza terrestre como los océanos, al igual que la atmósfera son proveedores de una amplia variedad de minerales y de distintos elementos esenciales para el desarrollo de las sociedades modernas.

La mayoría de las personas están familiarizadas con los usos comunes de muchos metales y elementos básicos, como el aluminio, el cobre de los cables eléctricos o hasta el oro y la plata como elementos de resguardo y valor. Pero desconocen en su mayoría la inmanente necesidad de elementos básicos, su procedencia y agotamiento, así como los costos ambientales y sociales de su extracción y de su utilización.

La humanidad necesita y consume de manera permanente, recursos naturales y utiliza (prácticamente sin reconocerlo ni saberlo), servicios esenciales dados por el planeta. Los estilos de desarrollo globales están generando una enorme presión sobre todos los ecosistemas del planeta. Si el mundo pretendiera hoy alcanzar el

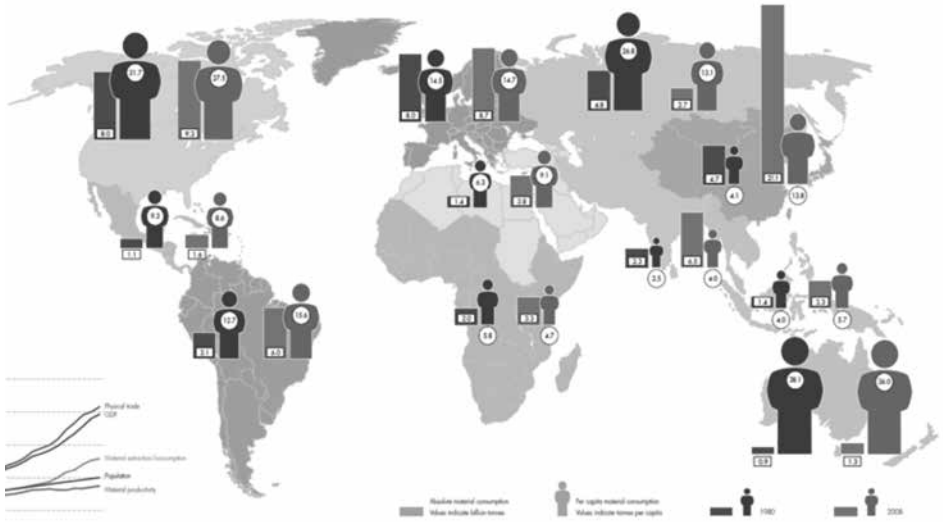
mismo nivel de consumo que el occidente más desarrollado, serían necesarios cinco planetas para poder abastecer esa demanda.

Además esa demanda se concentra en las ciudades, que son los principales espacios donde se consumen los recursos. Las ciudades arrastran más del 80 por ciento de los recursos energéticos y el 75 % de los materiales. Consumen y degradan recursos hídricos y biodiversidad al extender su huella ecológica, de carbono, hídrica y de materiales, mucho más allá de sus límites.

Este **metabolismo social** y la **colonización humana sobre el planeta y todos sus recursos** (Pengue 2009, 2013) parece ser irrefrenable. Por ese motivo, más importante que sólo apuntar a los análisis de flujos monetarios de una economía, es comprender qué sucede con sus flujos físicos y con los cuellos de botella que se presentan o presentarán en ese contexto.

El análisis económico del flujo de materiales es la compilación consistente de todos los ingresos materiales a una economía nacional; la acumulación material en el sistema económico (por ejemplo, el movimiento de cemento, de áridos, el stock de viviendas, de granos, de biomasa, de ganado) y las salidas de materiales hacia otras economías o el ambiente (EUROSTAT 2001). Estos flujos pueden ser directos o indirectos, como las toneladas de cobre, oro, plata, soja, carne, maderas, que un país importa o la mochila ecológica que la extracción de este metal deja territorialmente en su país de origen o las emisiones a la atmósfera durante su transporte desde su centro de producción y transformación hasta el de su consumo. Con la globalización, en muchos casos esto sucede de manera intercontinental.

En general en todos los continentes se produjo un aumento en el consumo de materiales, tanto en valores absolutos como per cápita. América Latina aumentó su demanda de materiales entre 1980 y el año 2008 de 12,7 a 15,6 toneladas por persona y su consumo pasó de 3.100 millones de toneladas a 6.000 millones de toneladas para el mismo período por año.



Fuente: SERI (Sustainable Europe Research Institute) - <http://seri.at/en/resource-use/>

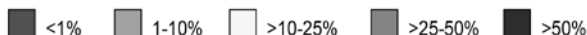
En el mismo período, la economía china pasó de 4.700 millones de toneladas de materiales a 21.100 millones de toneladas, con un aumento del consumo per cápita de 4,1 a 13,8 toneladas. India tuvo un proceso de crecimiento con una demanda algo menor, pasando de 2.500 millones de toneladas a 4.000 millones, con un aumento de la cápita de 2,5 Tn. a 4 Tn. Las economías norteamericanas se mostraron más estables, pasando de 8.000 a 9.300 millones de toneladas de materiales, con un per cápita de 31,7 Tn que bajó a 27,5 Tn. En Europa, el consumo de materiales pasó de 8.000 millones de toneladas en 1980 a 8.700 millones de toneladas en 2008. El promedio per cápita pasó de 14,5 Tn. a 14,7 Tn. En estas economías como así también en la economía japonesa, la búsqueda de ajustes a través del reciclado y la eficiencia tecnológica en el uso de materiales ha tenido algún impacto. No así sobre las pautas de consumo.

Ciertamente, la humanidad está comenzando a intentar reciclar muchos de los elementos que necesita para su desarrollo y crecimiento (Ver Tabla Periódica de los Elementos, más adelante). Se hace necesarios tomar muchos otros de los elementos del propio entorno, incrementando la presión sobre los sistemas, cuando estos no respetan los ciclos naturales ni los ciclos biogeoquímicos (Ver más adelante) de los elementos.

Tasas de reciclado de los distintos elementos de la Tabla Periódico de los Elementos

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



Fuente: UNEP Resource Panel

Actualmente, un número importante de metales (ferrosos, no ferrosos, preciosos y especialidades) comienzan a ser seriamente evaluados en procesos de reciclaje y reconversión. En las sociedades modernas, tanto las tierras de relleno sanitario como las ciudades se muestran como las “mineras del futuro” (Resource Panel 2011, Pengue 2013). Por ejemplo, el hierro es un constituyente del acero que es por lejos, el principal metal consumido globalmente. En 2009 más de 1.200 millones de toneladas de acero se produjeron mundialmente, con una demanda creciente en especial en las economías en desarrollo y en China. Otros metales ferrosos como el vanadio, cromo y níquel acompañan estos tipos de acero y superconductores producidos.

El aluminio, un elemento no ferroso, es utilizado principalmente en la construcción y el transporte y ha sido el segundo producto producido mundialmente con más de 30 millones de toneladas por año. El cobre es el tercero en cuestión con alrededor de 24 millones de toneladas (en 2007). Tiene una creciente demanda también, en tanto es uno de los principales conductores de electricidad y calor.

Los elementos básicos son las vitaminas de las sociedades modernas. El desarrollo urbano necesita de tales elementos básicos, como la agricultura necesitará de sus nutrientes. Los *speciality metals*, forman parte de estructuras complejas en las sociedades modernas, que prácticamente se verían paralizadas frente a su ausencia. Por ejemplo, el elemento indio, es un interesante ejemplo de algo que se ha hecho esencial en productos con cristal líquido, las TVs, las notebooks o los celulares y también los semiconductores o las imprescindibles células solares (PNUMA 2011). Es importante comprender que los elementos preciosos como así también las especialidades, son a la civilización actual, como las vitaminas al hombre o los oligoelementos o micronutrientes a la agricultura. Son imprescindibles, y se usan en pequeñas cantidades.

No obstante, los sectores que más impactan sobre la extracción de recursos naturales, son la agricultura y la pesca (PNUMA 2010). La agricultura es responsable de más del 50% del uso de las tierras y de más del 70% del uso del agua, a nivel mundial. La agricultura y la pesca también son responsables de casi toda la extracción de recursos bióticos naturales. Se calcula que en la actualidad se usa el 35% de la producción primaria neta de materiales bióticos del planeta en procesos económicos.

Mientras que los materiales bióticos se podrían producir de forma sostenible, la extracción de los recursos pesqueros ha provocado el desplome de las reservas de pescado en varias zonas pesqueras. Otro tanto sucede con algunas especies de árboles, especialmente con algunas especies de maderas nobles de crecimiento lento. El establecimiento de prioridades en la escasez de recursos abióticos es una cuestión complicada. La seguridad del suministro de los portadores de energía fósiles (sobre todo, el petróleo) y de algunos metales puede plantear un problema en el futuro, lo que nuevamente resalta la importancia de los sistemas energéticos, tanto de energías fósiles como así también de renovables que pueden encontrar su cuello de botella en los materiales necesarios para su diseño.

Según Walter y otros (2013) en el caso de la Argentina, entre 1970 y 2009 la extracción de materiales pasó de 386 millones a 660 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento superior a la de la población del país.

Esto significa que el aumento en la extracción de materiales no está impulsada por el consumo doméstico (interno en sí mismo) sino fundamentalmente, lo está por la exportación de commodities (agricultura, forestal, ganadería, energía y minería). Comparando con otros países exportadores de la región, Argentina tiene la mayor extracción de materiales per cápita: 16.46 ton/cap. Colombia tiene una extracción per cápita promedio de 8.3 ton/cap (Vallejo et al. 2011) y Ecuador de 7.4 ton/cap (Vallejo, 2010).

West, J. y Schandl, H. (2012) llegaron a similares conclusiones en un trabajo desarrollado desde el CSIRO en Australia, para América Latina, estudiando también los flujos de materiales de varios de los países de la región, incluida Argentina.

La biomasa representa el 70% del flujo material, y se compone en un 71% por las pasturas y alimentos para el ganado, en un 2% por pesca y extracción maderera y en un 27% por cultivos (Ver gráfico).

Entre 1997 y 2015, la extracción de cultivos pasó de 50 millones de toneladas a 137 millones, siendo la soja el cultivo que más creció, saltando de 26,000 toneladas a más de 30.9 Millones en el mismo período. El área cultivada con soja también se vio disparada, pasando de 38,000 has en 1970 a 20.100.000 has en el 2015, lo que representa más de la mitad de la tierra cultivada. En 2014 la superficie total sembrada con cultivos fue de 39 millones de hectáreas. La soja transgénica ha desplazado otros cultivos de consumo doméstico como cereales, tubérculos, hortícolas y frutícolas; promovió la expulsión de los campos ganaderos, el cierre de establecimientos lecheros y afectó incluso a producciones más intensivas como la producción avícola, porcina y otras. Muchas de ellas sobrevivieron en términos de producción, pero concentrando el negocio en más grandes empresas y grupos concentrados. Los grandes perdedores de las últimas dos décadas fueron los pequeños y medianos agricultores. Las estadísticas del censo indican que ellos son el 80 % lo que representa la mayor salida, junto a la pérdida de establecimientos agrícolas, concentrada en el segmento de la agricultura a menor escala.

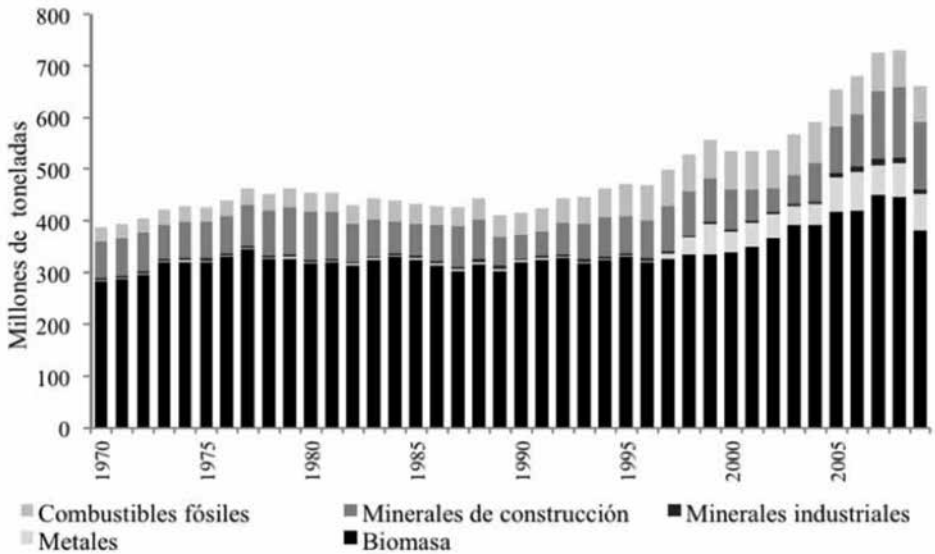
También ha habido una reducción de las áreas de pastoreo para ganado, así como de la práctica de la rotación de cultivos (PEA2 2010; Santarcángelo y Fal, 2009), concentrándose la producción ganadera en las pampas particularmente, en *feedlots* (ganado estabulado) y exportándose hacia otras ecorregiones como el Chaco, en un nuevo proceso de ganaderización.

No obstante, como se ve, desde hace más de una década, son cada vez más implementados los estudios y balances de flujos físicos en las economías, en los cuales la base de uso de muchos de estos recursos, como los provenientes del suelo, no están claramente analizados ni contabilizados.

Es decir, si bien en las estimaciones y estudios sobre el Balance de Flujos físicos de las Economías (en la bibliografía *Material Flow Accounting*) se incorporan los minerales, los metales, los combustibles fósiles y la biomasa en general, no se incluye qué sucede con el flujo de lo que podríamos llamar los **Recursos de Base**, es decir, los nutrientes del suelo.

Por ese motivo y por la relevancia que tienen los suelos y en especial el mantenimiento de la estabilidad y calidad de sus nutrientes para los países de base agropecuaria como Argentina y muchos otros de la América Latina, estos elementos

Extracción de Materiales, principalmente biomasa, en la economía argentina



Fuente: Walter, M. y otros (2013)

constituyen son el foco. Para países cuyo recurso básico son sus suelos, es grave que los suelos no estén siquiera evaluados de manera indirecta en los análisis de balances.

Por supuesto que esta calidad de los suelos, no puede ni debe separarse claramente de la comprensión de que el suelo es un organismo vivo, en el que además de nutrientes, viven millones de microorganismos diferentes que contribuyen con su diversidad a la estabilidad de un sistema muy complejo (Beste 2015). No obstante aquí, nos circunscribiremos al análisis de los flujos de materiales no bióticos, es decir de los nutrientes y sus movimientos.

Cuando el stock de materiales iniciales de los suelos y economías agrícolas de exportación, en especial de grandes volúmenes transferidos, se ve disminuido año tras año, la consideración de estas transformaciones físicas, debe llevarnos a evaluar estos procesos. Esto es necesario porque es muy posible, convertir en poco tiempo, en virtuales desiertos a los mejores suelos de la tierra, como los Molisoles y los Alfisoles (muchos de ellos presentes en la Argentina, en especial en las ecorregiones Pampa, Chaco y Espinal). La calidad de los suelos entre una y otra ecorregión es muy importante y el manejo de los suelos, sostiene o aleja al agricultor de una mayor o menor sustentabilidad.



Barbecho (campo en descanso) con cobertura del cultivo anterior (maíz). Siembra Directa. Sin uso de arado. San Antonio de Areco, Buenos Aires (Pengue, 2015)



Barbecho sin cobertura sobre suelo sensible. Uso de arado. Cochabamba. Bolivia (Pengue, 2013).

Ayudar a comprender parte de estos procesos y regular de una manera más sustentable el proceso de transformación de estos elementos, es además, un elemento sustancial para la definición de políticas ambientales y productivas de mediano y largo plazo, que apunten a un ordenamiento territorial y ambiental participativo, que integre tanto los estudios de cambio de uso del suelo como también la productividad, cada uno de ellos pueda tener según su calidad.

Claramente, el crecimiento de la economía mundial está generando un importante cambio en el uso del suelo mundial. La agricultura es uno de los más importantes factores de generación de este tipo de cambios (UNEP 2014). Un reciente informe de las Naciones Unidas alertaba que hasta 849 millones de hectáreas de terrenos vírgenes (casi el tamaño de Brasil) pueden llegar a exponerse a un riesgo de degradación de aquí a 2050, si continúan las tendencias actuales de uso insostenible de la tierra.

La necesidad de alimentar a un número creciente de personas y satisfacer nuevas demandas de consumo (biocombustibles, biomateriales, nuevos hábitos), en todo el planeta, ha provocado que cada vez más terrenos se conviertan en tierras de cultivo, a expensas de las sabanas, las praderas y los bosques del mundo.

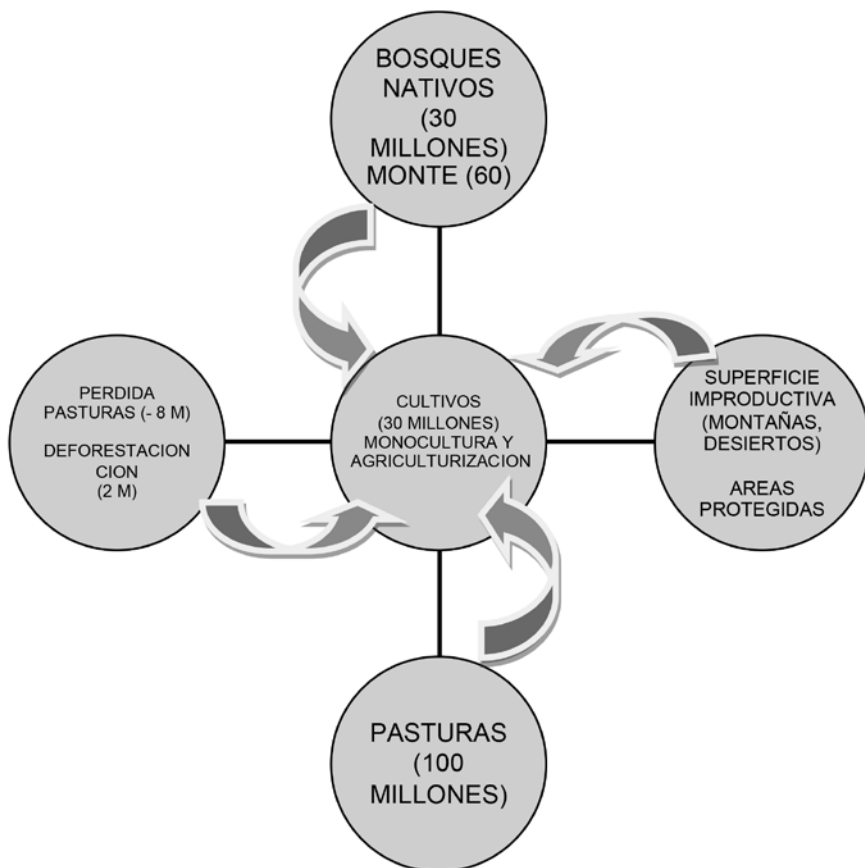
El resultado ha sido la degradación ambiental generalizada y la pérdida de diversidad biológica, que afectan al 23% del suelo mundial, según las estimaciones de Naciones Unidas. La agricultura consume actualmente más del 30% de la superficie continental del planeta y las tierras de cultivo abarcan en torno al 10% del terreno mundial. Entre 1961 y 2007, las tierras de cultivo se expandieron en un 11%, tendencia que continúa creciendo.

Decía en la presentación de un informe del PNUMA en Davos, Achim Steiner: *"Al reconocer que la tierra es un recurso finito, necesitamos aumentar la eficiencia en nuestra forma de producir, ofrecer y consumir los productos obtenidos de ella. Debemos ser capaces de definir los límites dentro de los cuales el planeta puede funcionar con seguridad y atenernos a ellos para salvar millones de hectáreas de aquí a 2050"*.

En un escenario sin cambios respecto a la situación actual, la expansión neta de las tierras de cultivo será de entre 120 y 500 millones de hectáreas hasta 2050. El cambio a una dieta más rica en proteínas en los países en desarrollo, unido a la creciente demanda de biocombustibles y biomateriales, especialmente en los países desarrollados, están aumentando la demanda de tierras.

En Argentina continental, contamos con 279.000.000 de hectáreas, de las que 30 millones se destinan a cultivos y alrededor de 100 millones a pasturas.

Usos del suelo en la Argentina (Sobre una superficie de 279 millones de hectáreas)



Una característica importante a tener en cuenta en este sentido tiene relación con la "calidad" de las tierras involucradas. Calidad y productividad de los suelos son un factor importante relacionado con el contenido de Materia Orgánica y nutrientes de los mismos, lo cual es una cuestión crucial. Es bien conocido que la "huella ecológica" mide y permite percibir la demanda de tierra para la producción de distintos bienes y servicios, pero no obstante no refleja en su totalidad la calidad de las tierras involucradas. En este sentido la **Huella de Nutrientes**, que incluye la demanda de estos por parte de la producción, implica entonces la relación entre estos y la sustentabilidad de la misma. De ahí también derivan otros factores vinculados, como la demanda de fertilizantes para intentar balancear la notable extracción de nutrientes derivados de la agricultura, la ganadería y la forestación.

Más de la mitad de los fertilizantes que contienen nitrógeno sintético fabricados en la historia humana se han usado en estos últimos 25 años (UNEP 2014).

En 2005, las 10 mayores corporaciones controlaban la mitad de las ventas de semillas comerciales; las 5 principales empresas de comercio de cereales controlaban el 75% del mercado, y los 10 mayores fabricantes suministraban el 84% de los agroquímicos y fertilizantes.

El comercio agrícola internacional se ha multiplicado por diez desde los años sesenta (UNEP 2014).

Ha surgido un comercio agrícola mundial caracterizado por altos niveles de concentración agroindustrial, un rápido aumento de la cuota de venta minorista de alimentos correspondiente a las cadenas de supermercados, y un crecimiento del comercio de productos alimentarios, fertilizantes y plaguicidas.

Por otro lado, el precio de los alimentos continúa por debajo del máximo alcanzado en 2008, pero es superior a los niveles previos a la crisis en muchos países en desarrollo y esto pone una presión competitiva por los recursos generada por los mercados especulativos (extra agrícolas), el cambio dietario global (impulsado especialmente por China), la aún creciente demanda expansiva de Occidente y la llegada y creación de nuevos mercados como los de biomateriales y biocombustibles.

Desarrollo, interdependencia y complejidad

Existe una clara vinculación entre los actuales procesos de desarrollo económico y la demanda de recursos naturales. Lamentablemente la economía global ha seguido un proceso de transformación de naturaleza, degradación ambiental y contaminación que nos ha hecho ingresar en un proceso de economía marrón, insostenible y de alto riesgo para la estabilidad planetaria.

Es muy llamativa la interrelación que hay entre la demanda de recursos globales, la satisfacción de la misma en uno u otro lugar del planeta y la propia satisfacción de demandas elementales de materiales de algunas economías.

Por ejemplo, la demanda global de tierra para la producción de distintos bienes alcanzó las 88 millones de km². El 21 % de estas tierras provinieron de África, pero de estas solo el 16 % se utilizó para satisfacer la demanda de su propia población y necesidades, mientras que la restante apuntó a la satisfacción de bienes exportables, especialmente hacia Europa.

Le siguieron como grandes exportadores de tierra (tierra virtual, en términos de su uso para la producción), Canadá, Australia y América Latina, que son los grandes jugadores de la producción primaria agropecuaria (Tukker y otros 2014).

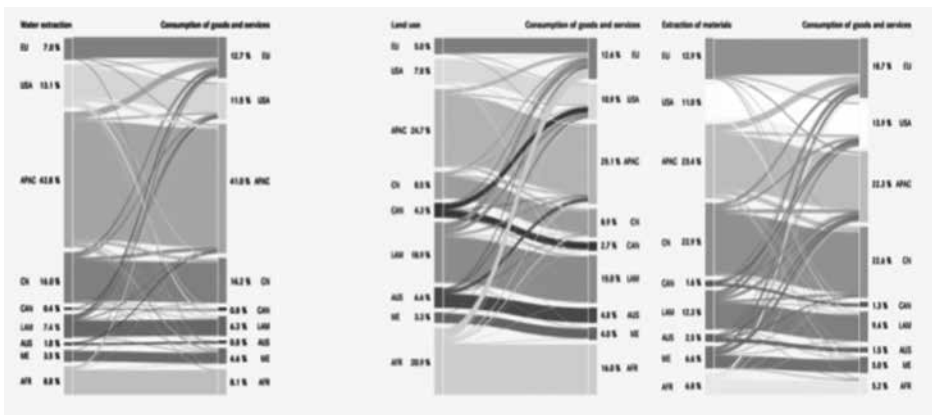
América Latina es un exportador neto de agua, tierra y materiales, los que en general, derivan en mayor proporción hacia la Unión Europea y EE.UU. que a China,

la que a su vez se muestra como exportador de recursos naturales (Ver Diagrama Tukker y otros 2014).

Estados Unidos es la mayor economía del mundo, hasta ahora, seguida muy de cerca por China, que la alcanzará en breve. En términos absolutos muestran la huella de carbono más grande del planeta (7.479.646 kt) y la tercera per cápita (24.830 kg por persona). Es un importador neto de tierra, agua y materiales incorporados en productos. Los grandes territorios de algunas economías suelen diluir de alguna manera el fuerte impacto de la demanda de recursos de estos países. No obstante la demanda de recursos básicos se sigue multiplicando.

La complejidad de los procesos de demanda de recursos y los países puede notarse al comparar lo excedidas que están varias economías globales con respecto al promedio tolerable globalmente (Véase Cuadro siguiente).

**El Mundo Interconectado (Tukker y otros 2014).
Consumo de Agua, Tierras y Extracción de Materiales desde distintas regiones
para la provisión de Bienes y Servicios**



Siglas: AFR África, APAC Asia y Pacífico, AUS Australia, CAN, Canadá, CN China, EU Europa, LAM América Latina, ME Medio Oriente, USA Estados Unidos

Demanda de los principales recursos naturales, población y economía en países seleccionados

Indicadores	Carbón	Agua	Tierra	Materiales	PBI	Población
Promedio Mundial	5.721 Kg/ cápita	250 m3/ cápita	0,013 Km2/ cápita	9886 Kg/ cápita	40.744.556 mil millones Euros	6.638.184.044
EE.UU.	24.830 kg/ cápita	664 m3/ cápita	0.032 Km2/ cápita	29.476 kg/ cápita	10.211.602 mil millones Euros	301.231.207
Sud África	7.287 kg/ cápita	153 m3/ cápita	0,021 Km2/ cápita	7403 kg/ cápita	208.806 mil millones Euros	48.257.282
Holanda	16.781 Kg/ cápita	525 m3/ cápita	0,031 Km2/ cápita	25.610 Kg./ cápita	571.008 mil millones Euros	16.381.696
India	1.446 Kg/ cápita	298 m3/ cápita	0,002 Km2/ cápita	3.711 Kg./ cápita	906.550 mil millones Euros	1.159.095.250
China	5.569 Kg/ cápita	182 m3/ cápita	0,007 Km2/ cápita	12.929 Kg./ cápita	2.549.475 mil millones Euros	1.317.885.000
Argentina	5710 Kg/ cápita	1403 m3/ cápita	0,026 Km2/ cápita	17.500 Kg/ cápita	450.000 mil millones Euros	41.446.246

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Tukker y otros (2014) y Pengue (2009, 2013, 2015).

Si circunscribimos el foco de análisis a la demanda global de nutrientes y su flujo internacional, es aún mayor la escalada de extracción, degradación y contaminación, demostrando una complejidad de las interacciones pobremente evaluada por la economía global. No hay análisis globales que den cuenta sustancial de todos los procesos involucrados.

El documento que se acercó a abordar la cuestión de los nutrientes fue el de *Millenium Ecosystem Assesment (2005)* que evaluó de alguna forma la situación y tendencias vinculadas con el ciclado de los nutrientes, pero no incluyó la perspectiva metabólica y de flujos globales.

El **Metabolismo Mundial de Nutrientes** está en primera instancia vinculado a los Ciclos Biogeoquímicos (como se verá más adelante) de cada uno de los elementos y justamente su integración con los ciclos del carbono, del agua y de las rocas, que están profundamente relacionados.

Actualmente el flujo de estos nutrientes puede ser observado a través de dos procesos importantes:

- El flujo de nutrientes derivado de las actividades antrópicas (agricultura, industria, consumo doméstico)

- El flujo de nutrientes generado por eventos naturales (tormentas, fenómenos naturales, migración de especies) o derivados de actividades antrópicas degradantes (erosión, pérdidas de estructura).

El flujo de nutrientes en el marco de la economía y agricultura mundial viene creciendo de manera alarmante y generando desbalances importantes. Mirado regionalmente, el desbalance generado en el flujo de nutrientes es notable, particularmente observando la dinámica de los principales nutrientes de la agricultura moderna, esto es el nitrógeno, el fósforo y el potasio (NPK).

El análisis de extracción de los nutrientes en los suelos agrícolas durante 1996-1999 muestra que en la mayoría de los países de África y de América Latina y el Caribe las tasas de agotamiento son tan altas que el uso actual de las tierras, en algunos lugares puntuales, se ha hecho insostenible. La otra cara de la moneda, destaca un exceso de nutrientes derivado de la fertilización y concentración en siembra de leguminosas. Esto es más grave en los EE.UU. y los países de la Europa industrializada, pero también ocurre en algunas zonas densamente pobladas de países como India y China, como así también en Brasil o Argentina.

En el año 1997, el flujo neto de nitrógeno, fósforo y potasio a través de los productos básicos agrícolas comercializados llegó a los 4,8 Tg (Teragramos) con una proyección de casi 9.000.000.000 de kilogramos en el año 2020 que seguramente será superada.

Los flujos varían ampliamente entre las distintas regiones. Los principales importadores netos de NPK han sido Asia occidental, África del Norte y China. Los suelos de los países del África Subsahariana son ampliamente conocidos por ser degradados debido al agotamiento de los nutrientes, y son importadores de NPK en los productos agrícolas. Sin embargo, en los países subsaharianos los nutrientes importados en alimentos para la gente y el ganado, en lugar de aliviar las deficiencias de los suelos rurales se concentran habitualmente en las ciudades, donde se crean problemas de eliminación de residuos. Los suelos rurales nuevamente comienzan a recibir ingentes cantidades de fertilizantes, muchos de ellos a través de programas de subsidios a la fertilización, con financiación internacional.

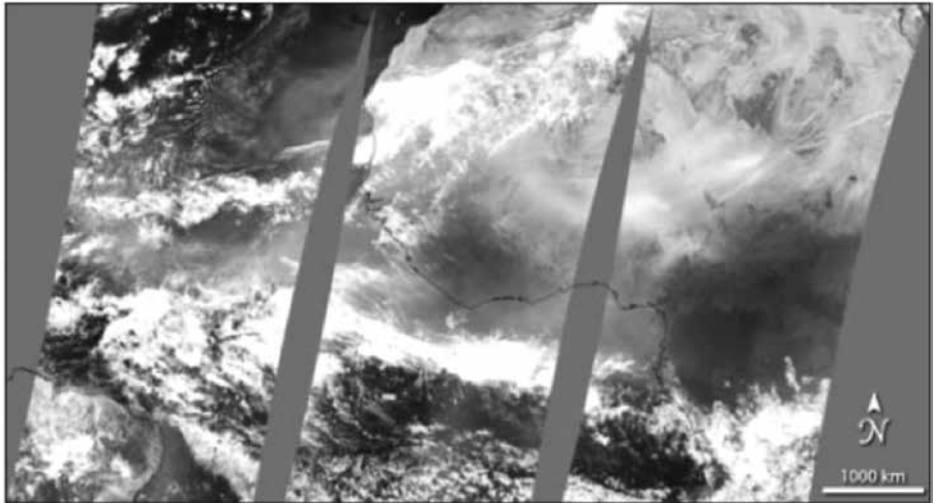
Los países con una pérdida neta de NPK en los productos agrícolas son las principales economías rurales del mundo como Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Brasil, Argentina o Paraguay.

Hacia finales de la década de los noventa, se estimaba que el flujo de nutrientes era de unos 230 millones de toneladas, de las cuales 130 mil millones de toneladas estaban relacionadas con el movimiento de nitrógeno, fósforo y potasio (Vlek y otros 1997). En el caso del nitrógeno, la fijación simbiótica y especialmente la actividad vinculada al aporte de las leguminosas y al aumento de su siembra a escala global, pueden llegar a superar los 90 mil millones de toneladas de aporte anual.

En varias economías agrícolas como Argentina o Brasil, más de la mitad de los fertilizantes más comunes comienzan a ser consumidos en los países en vías de desarrollo, que pasan de una tendencia de niveles bajos de consumo de insumos, hacia una mayor intensificación. A ello se suma la creciente demanda de fertilizantes en nuevas economías como China e India y actualmente el ingreso de estos a las tierras fértiles de África.

Asimismo, la explotación de la fertilidad de las tierras nativas se acopla en forma directa a una declinación de la materia orgánica de los suelos, hecho que por otro lado genera importantes emisiones de gases de efecto invernadero al “quemarse” con el oxígeno esta materia, cuando estas tierras son labradas de manera convencional.

El flujo de materiales de manera natural (Ver imagen) o derivada de la presión de transformación antrópica, es también un factor crucial que moviliza anualmente millones de toneladas de nutrientes.



Source: NASA

Nube de polvo en la costa noroeste de África, el 10 de enero de 2005. En el extremo inferior izquierdo se ve el noreste de América del Sur. Las nubes de polvo se desplazan a miles de kilómetros y fertilizan con hierro el agua de la costa oeste de Florida. Esto ha sido asociado con la aparición súbita en la región de grandes cantidades de algas tóxicas y con problemas respiratorios en América del Norte, y ha afectado a los arrecifes de coral en el Caribe. La degradación de las tierras secas agudiza los problemas asociados con las tormentas de polvo. (Los puntos rojos en la imagen son incendios.). Fuente: MEA 2005

Un factor importante que está contribuyendo a una movilización de crecientes volúmenes de materiales es el efecto de las Hidrovías. La construcción de hidrovías, genera dos efectos ambientales importantes.

Uno es una mayor facilitación para ingresar a otras nuevas tierras, lo que incrementa el cambio de uso del suelo y la deforestación (Imagen) y en segundo lugar, un proceso erosivo importante, al ir ingresando tierras marginales que perdiendo su cobertura pierden también su estabilidad y estructura, liberando tanto materia orgánica como nutrientes hacia los cursos de agua (Ver Imagen).

Por ejemplo el flujo mundial de nitrógeno inorgánico disuelto hacia los océanos alcanza los 18.291 Tg (Seitzinger y Kroeze 1998). Estos nutrientes también se concentran aguas abajo y rebalsan el funcionamiento de las represas y endicamientos (formación de diques). La dinámica del carbono derivada de las actividades agrícolas, cambio climático, junto a los materiales que fluyen en las áreas tropicales y subtropicales están movilizando de esta forma una ingente cantidad de nutrientes (Sjögersten, S y otros 2014).



Quema de campos, sedimentación y preparación para agricultura en el norte argentino (Pengue W).

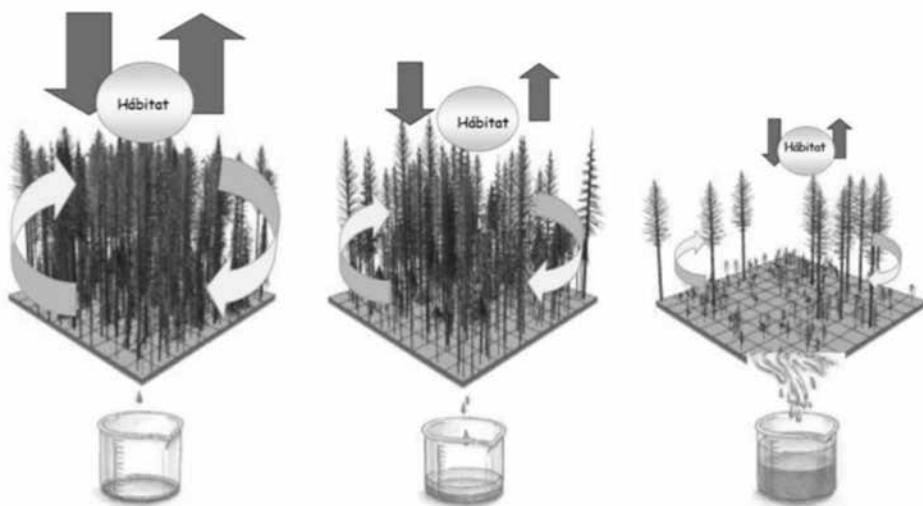


Imagen: Deforestación, erosión y flujo de nutrientes (Fuente: INTA)

En el caso de Argentina, el flujo de nutrientes naturales derivado de los aportes aguas arriba de los ríos de la Cuenca del Plata, es un vivo ejemplo de movilidad de recursos de una ecorregión a otra. Hoy se exagera de manera notable con relación a los procesos de deforestación/sojización en la zona alta de esta cuenca en su componente argentina (Ecorregión Chaco).



Imagen: Nutrientes en la boca de salida de la Cuenca del Río Paraná (INTA).

La última década (2006-2016) ha sido crucial en la facilitación de la sistematización (léase deforestación) de miles de hectáreas en aquellas ecorregiones que no son especialmente una pampa sino un bosque.

Sin embargo se sigue impulsando una transformación del paisaje, cambios de uso del suelo y extracción de nutrientes tanto de la mano de la producción de soja, el maíz o la ganadería con escaso manejo agrosilvopastoril.

En la campaña 2015/2016 el área sembrada con soja rondará los 20.100.000 hectáreas; habrá 2.900.000 de maíz, y 1.1450.000 de girasol. 3.700.000 hectáreas fueron destinadas al trigo en la campaña del invierno verano 2015. Desde enero de 2016, en función de la liberación de las retenciones propuestas desde el nuevo gobierno argentino, solo queda el 30% para soja, con una reducción anual del impuesto del 5%. Las proyecciones para el 2016/2017 indican que el trigo podría incrementar rápidamente su superficie sembrada en un 50% (unas 5.500.000 hectáreas); el maíz aumentará un 30% (a casi unas 4.000.000 de hectáreas); el girasol impulsado por precios también aumentaría otro 30% llegando al 1.900.000, y la soja seguiría jugando su rol, aumentando su productividad y concentrándose algo más en la región pampeana. Sin embargo ciertos subsidios y cambios estructurales, la exención de impuestos y subsidios al transportes y fletes, pueden seguir abriendo la frontera agropecuaria norte, acompañados por la expansión maicera, la ganadería extrapampeana (marginal y con otro tipo de ganado) y las plantas de biocombustibles.

La zona norte está cambiando para facilitar principalmente los procesos de producción y exportación. Las plantas de biocombustibles se suman a las de fertilizantes, de metanol y metóxido. Desde YPF (fertilizantes, precursores) hasta Evonik (alemana) se instalan plantas para la producción de metóxido y la molturación del grano. La tecnología de una planta grande procesa actualmente casi 8.000 toneladas diarias de granos de soja, liderando Argentina el mercado mundial de biodiesel, con una capacidad instalada de 3.500.000 metros cúbicos y una disponibilidad de aceite superior a los 5.000.000. El "residuo", la glicerina, ya está siendo trabajada con procesos biotecnológicos con el fin de producir polímeros biodegradables.

A partir de 2016, con la implementación del Programa Plan Belgrano, la extracción de recursos apuntando hacia los mercados de exportación, se potencia aún más de todo lo hecho en la última década por el gobierno anterior. Se trata de una inversión de 16.000 millones de dólares para los próximos diez años, apuntando a infraestructura en ferrocarriles, obras viales y otras infraestructuras, como así también una inversión más inmediata (2016/2020) de asistencia a focos de extrema pobreza, inversión educativa y subsidios e incentivos fiscales hacia algunas economías regionales.

Según se informa, el Plan Belgrano se orienta a las provincias de Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Jujuy, Salta, Formosa, Chaco, Corrientes y Misiones.

Los corredores y su fortalecimiento y ampliación parecen responder a una búsqueda de integración a la salida por los grandes puertos de ultramar y concentran sus inversiones en las rutas 9 (Córdoba-Salta), ruta 34 (Rosario-Orán), ruta 14 (entre Paso de los Libres y Posadas), como así también el corredor bioceánico con Chile para la exportación de productos regionales desde puertos de ese país hacia China.

Además de las rutas y la Hidrovía, el fortalecimiento de inversiones hacia la red ferroviaria de cargas en el Norte, en especial el tren Belgrano Cargas es presentado como una prioridad.

Todo el proceso de articulación de inversiones en estas arterias, apunta a la estructuración de una red que permitiría dar salida a las exportaciones argentinas de materias primas (y de otros países como Brasil o Paraguay y hasta Bolivia).

Capítulo 3

Suelos, nutrientes y ciclos

“Cuando los recursos se degradan, se inicia la competencia por ellos, ya sea a nivel local en Kenia, donde tuvimos enfrentamientos tribales sobre la tierra y el agua, o en el nivel global, en el que estamos luchando sobre el agua, el petróleo y los minerales. Así que una manera de promover la paz es promover la gestión sostenible y la distribución equitativa de los recursos”.

Wangari Maathai

Tectónicas y formación

Las condiciones geológicas y los materiales determinan el tipo, ubicación e intensidad de los procesos naturales. A lo largo de la mayor parte de los 4.600 millones de años de la historia de la Tierra, los materiales de la superficie de esta, o cerca de ella, han sido creados, moldeados, mantenidos, destruidos y transformados por numerosos procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos que están actuando de manera permanente sobre la Tierra, producen los materiales terrestres, tierra, agua y atmósfera, necesarios para la supervivencia no sólo de la especie humana sino de toda la vida conocida y desconocida en el planeta. En su conjunto, a estos procesos se les denomina ciclo geológico, que en rigor, es un grupo de cuatro subciclos donde podemos discernir: el ciclo tectónico, el ciclo de las rocas, el ciclo hidrológico y los ciclos biogeoquímicos.

El término tectónico se refiere a los procesos geológicos a gran escala que deforman la corteza terrestre y producen formas del terreno como cuencas oceánicas, continentes y montañas. Los procesos tectónicos están dirigidos por fuerzas generadas en el interior de la Tierra. La información sobre estos procesos se basa en la composición y las capas del interior de la Tierra y sobre los grandes bloques de la Tierra sólida, conocidas como placas tectónicas. El ciclo tectónico supone la creación, movimiento y destrucción de placas tectónicas (Keller y Blodgett 2012).

Diferentes tipos

La tierra tiene varias capas internas que difieren en composición o propiedades físicas. La capa exterior o superficial se llama litosfera, y es más fuerte y rígida que el material más profundo. La litosfera tiene un espesor promedio de 100 kilómetros.

La litosfera está partida en grandes trozos llamados placas litosféricas o tectónicas que se desplazan en relación unas con las otras. Sus procesos vinculados con la destrucción, movimiento de estas placas, se llaman tectónica de placas. Tanto la formación como la destrucción de las placas tectónicas tienen lugar a lo largo de sus márgenes o límites.

La tectónica de placas considera que la litósfera está dividida en varios grandes segmentos relativamente estables de roca rígida, denominados placas que se extienden por el globo como caparazones curvos sobre una esfera. Existen siete grandes placas como la Placa del Pacífico y varias más chicas como la Placa de Cocos frente al Caribe.

Cada placa se desliza horizontalmente relativa a la vecina sobre la roca más blanda inmediatamente por debajo. Más del setenta por ciento del área de las placas cubre los grandes océanos como el Pacífico, el Atlántico y el Océano Índico.

El ciclo de las rocas, es el subciclo geológico mayor y está relacionado con todos los demás subciclos. Depende del ciclo tectónico como fuente de calor y energía, del ciclo biogeoquímico para los materiales y del ciclo hidrológico para el agua. El agua se utiliza después en los procesos de meteorización, erosión, transporte, deposición y litificación de sedimentos.

El ciclo hidrológico, responde al movimiento del agua desde los océanos a la atmósfera y de vuelta a los océanos. Dirigido por la energía solar, el ciclo funciona por medio de la evaporación, evapotranspiración, precipitación, escorrentía superficial y flujo subterráneo, y el agua se almacena en diferentes compartimientos a lo largo del camino. Entre estos compartimientos están los tiempos de residencia o cantidad de tiempo medio estimado que una gota de agua permanece en un determinado compartimiento, y esto va de miles de años en glaciares, a nueve días en la atmósfera o menos aún en el suelo.

Aunque el porcentaje combinado de agua en la atmósfera, ríos y en ambientes subterráneos poco profundos es aproximadamente sólo 0,3 % del total, esta agua es extraordinariamente importante para la vida en la tierra y para el ciclo de las rocas y los ciclos biogeoquímicos. Esta agua superficial o casi superficial ayuda a trasladar y organizar elementos químicos en disolución, esculpir el paisaje, erosionar rocas, transportar y depositar nutrientes y proporcionar en definitiva, vitales recursos hídricos.

Los ciclos biogeoquímicos, responden a la transferencia o circulación de los distintos nutrientes a través de la atmósfera (es decir la capa de gases que rodea a la tierra), la litósfera (capa exterior rocosa de la tierra), la hidrosfera (océanos, lagos, ríos y aguas subterráneas) y biosfera (la componente viva de la tierra).

Los ciclos biogeoquímicos están entonces también, directamente vinculados con los ciclos tectónico, de las rocas e hidrológico. El ciclo tectónico proporciona agua de los procesos volcánicos además del calor y la energía necesarios para formar y cambiar los materiales de la tierra transferidos en los ciclos biogeoquímicos. El ciclo de las rocas y el hidrológico intervienen en muchos procesos que transfieren y almacenan elementos químicos en el agua, el suelo, las rocas o las estructuras vivas.

Los ciclos biogeoquímicos pueden describirse como la transferencia de distintos elementos químicos a través de una serie de compartimientos de almacenaje o reservorios (por ejemplo, aire, suelo, aguas subterráneas, vegetación). Por ejemplo, los animales exhalan carbono que entra en la atmósfera y es absorbido por las plantas. Cuando un ciclo biogeoquímico se comprende bien, es posible estimar la velocidad de transferencia o flujo del elemento a lo largo de los distintos compartimientos. Sin embargo, la determinación de esta velocidad a nivel global es una tarea sumamente difícil y compleja. La cantidad de elementos tan importantes como el carbono, el nitrógeno o el fósforo en cada compartimiento, y su velocidad de transferencia entre compartimientos solo se conocen aproximadamente.

Pero a diferencia de períodos anteriores, en la actualidad la enorme capacidad científica tecnológica está permitiendo a la civilización humana poner a su disposición recursos que otrora nunca antes había accedido. Por ello, muchos hablan que hemos pasado los límites de la sustentabilidad y pasado de nuestra era actual, conocida como Holoceno a otra, el Antropoceno liderada por la mano (¿desorientada?) del hombre. Es muy importante revisar esto a la luz de los ciclos biogeoquímicos y la circulación de los elementos, como estamos haciendo. Los procesos humanos convierten alrededor de 120 mil millones de toneladas por año de N² atmosférico en formas reactivas y la mayor parte, termina en el ambiente, contaminando vías fluviales y zonas costeras, erosionando lentamente la capacidad de resiliencia de los sub-sistemas terrestres. Respecto al fósforo, unas 20 mil millones de toneladas por año son extraídas y actualmente, alrededor de 8,5-9,5 mil millones de toneladas llegan hasta los océanos (aproximadamente 8 veces la tasa natural de afluencia) (Rockstrom y otros 2009).

Indicadores de cambio global. Obsérvese los efectos vinculados al exceso de elementos como el Nitrógeno, el Fósforo o los cambios en el uso de los suelos.



Fuente: Rockstrom y otros, 2009

Aspectos generales de un ciclo

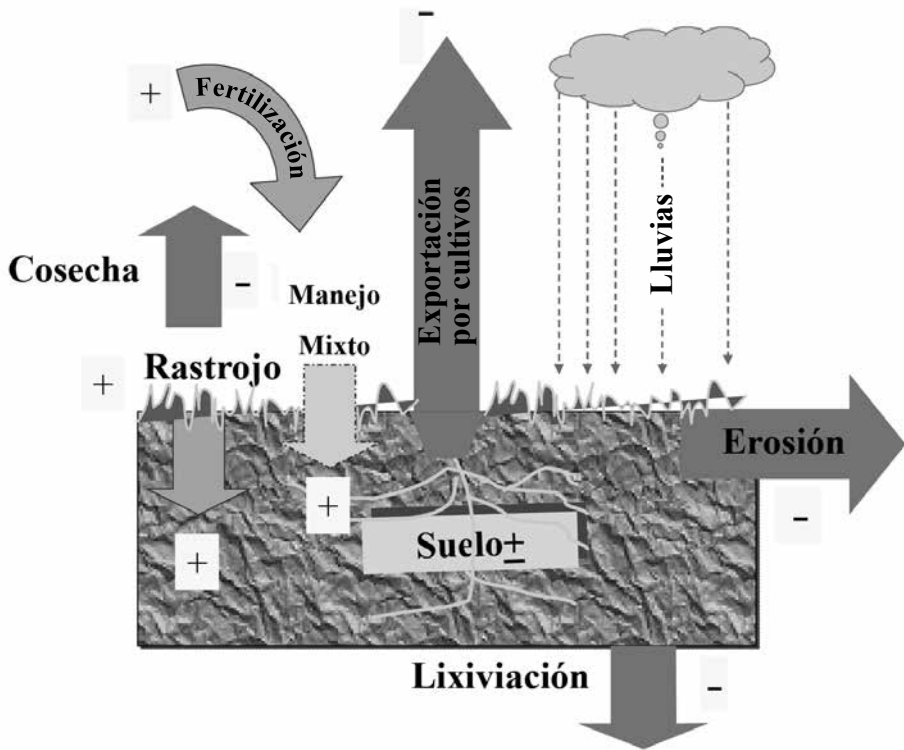
La energía solar origina flujos a través de los ecosistemas pasando de una parte de la cadena a la siguiente, hasta que finalmente se pierde como energía irradiada desde la biósfera hacia el espacio exterior. La materia también circula a través de los ecosistemas mundiales.

En cuanto a las moléculas, son formadas y reformadas por reacciones químicas y bioquímicas dentro del ecosistema, los átomos que la componen no pueden ser cambiados o perdidos. De este modo, la materia se conserva dentro del ecosistema y los átomos y las moléculas pueden ser utilizados y reutilizados, o reciclados, dentro de los propios ecosistemas. Los átomos y las moléculas se desplazan por el interior de los ecosistemas bajo la influencia tanto de los procesos físicos como de los biológicos. La trayectoria de un tipo particular de materia a lo largo del ecosistema terrestre comprende un Ciclo de la materia o Ciclo de los Nutrientes.

Se reconocen dos tipos de ciclos de la materia: el gaseoso y el sedimentario. En el ciclo sedimentario, el componente o elemento es liberado de la roca mediante la meteorización, al que sigue el movimiento en el agua de escorrentía, formando parte de la solución o como sedimento hacia el mar donde estos materiales se transformarán de nuevo en roca.

En el ciclo de los gases, el elemento o componente puede ser transformado en forma gaseosa. El gas se difunde por la atmósfera y de este modo llegará a la superficie continental o marina, para ser de nuevo, y por un tiempo mucho más corto reutilizado por la biósfera.

El flujo de estos materiales representa para cada lugar un proceso que implica un conjunto de cambios y de pérdidas.



Movimiento de nutrientes. Ciclo General. Fuente: Pengue: 2006.

En el diagrama anterior, se puede observar los procesos de pérdida y ganancias de los nutrientes. Pensemos en un suelo con una explotación mixta agrícola-ganadera. En realidad, cada ciclo es un proceso de equilibrio entre las entradas y

salidas de nutrientes. Las entradas pueden ser naturales, como la fijación biológica de nitrógeno, o desde fuera del sistema (p. ej. fertilizantes orgánicos e inorgánicos). Las salidas de nutrientes incluyen su eliminación completa del sistema a través de las cosechas, el viento, la erosión por agua y la lixiviación.

La disponibilidad de los nutrimentos es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrimentos del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo –el contenido original del suelo–, del abastecimiento y naturaleza de los fertilizantes, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, y de la absorción de los nutrimentos por parte de los cultivos.

La materia orgánica representa, aproximadamente, el 5% en el peso del suelo ideal. A pesar de ser un porcentaje relativamente pequeño, su presencia es altamente importante en el crecimiento de las plantas. La adición de residuos orgánicos al suelo, provenientes de plantas y animales y su posterior descomposición por los microorganismos, establecen dos procesos que determinan el nivel de acumulación de materia orgánica en los suelos.

Las plantas son la principal fuente de materia orgánica, ya que parte de sus hojas, tallos, flores, frutos y generalmente todo el sistema radical, se quedan en el suelo cuando el cultivo es cosechado. La composición de estos rastrojos es muy variada: carbohidratos, grasas, aceites, lignina y proteínas, son los principales constituyentes y ellos son las fuentes de carbono, hidrógeno y oxígeno, así como también en el caso de las proteínas, de nitrógeno, azufre, hierro y fósforo, los cuales pudieron ser aprovechables por las plantas una vez que los microorganismos descomponen esos compuestos.

Los nutrientes liberados son esenciales para el crecimiento de las plantas y absorbidos a través de su sistema radical.

El proceso de empobrecimiento que sufre el suelo por efecto de la excesiva infiltración y percolación de aguas de lluvia o de riego, significa la pérdida de parte de sus nutrientes.

Los principales procesos de translocación o movimiento se producen desde la superficie hacia el subsuelo y son resultado del lavado (o remoción) parcial de ciertos materiales y compuestos siguiendo una cierta secuencia cronológica. Cuando las precipitaciones son abundantes y existe un superávit de agua durante gran parte del año (la cantidad de precipitación es mayor que la tasa de evaporación), los poros del suelo, en los que el agua había desaparecido durante la estación seca, se saturan. El agua percola y se incorpora a las aguas subterráneas. Con el paso del agua, las sales solubles del suelo (como los cloruros, nitratos, sulfatos o carbonatos) se disuelven y son lavadas hacia capas más profundas junto con otros compuestos orgánicos y minerales.

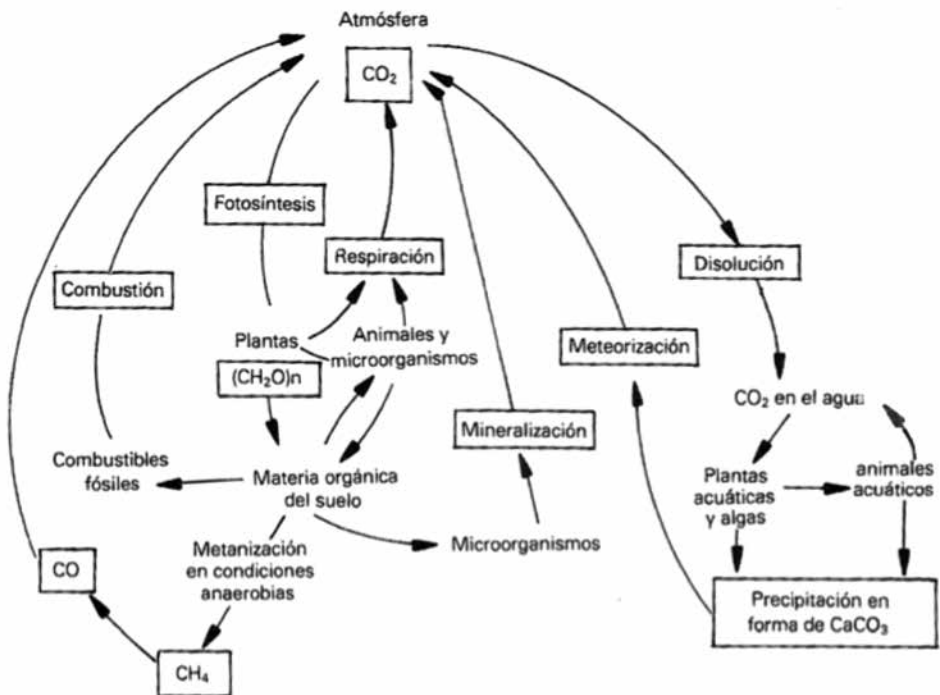
Macronutrientes y ciclos

Los tres principales componentes de los hidratos de carbono, base elemental de la conformación de biomasa en el planeta, el hidrógeno, carbono y oxígeno, acumulan la casi totalidad de la materia orgánica y son conocidos junto con el nitrógeno, calcio, potasio, magnesio, azufre y fósforo como los principales elementos de la vida, que por su proporción en las estructuras son conocidos como macronutrientes.

Tanto el carbono como el nitrógeno se mueven en general en ciclos gaseosos, al menos en parte, mientras que los otros restantes macronutrientes, calcio, magnesio y potasio son elementos procedentes de las rocas silicatadas, productos de la alteración mineral.

Los otros dos macronutrientes precedentes también, de la meteorización de la roca, son el azufre y el fósforo.

Ciclo del Carbono



(Fuente: Porta Casanellas, J. et al. 1994)

Los organismos autótrofos, es decir, las plantas en general, fijan el carbono procedente del CO₂ atmosférico que pasa a formar parte de los tejidos vegetales y de los microorganismos en forma de C orgánico. Los organismos organótrofos utilizan estos compuestos orgánicos como alimento. Sus restos y residuos, al ser mineralizados, liberan CO₂ con lo que se cierra el ciclo: las rocas carbonatadas y los sedimentos constituyen la reserva más importante de carbono. (Porta Casanellas, J. et.al. 1994) (Véase Diagrama Ciclo del Carbono).

Los componentes orgánicos del suelo proceden de la acumulación de restos y residuos de plantas y animales, biomasa senescente incorporada de forma natural al suelo en cualquier ecosistema.

El material orgánico de origen biológico aportado por el hombre en los agroecosistemas está formado por estiércol y restos de cosechas, entre otros. La descomposición de los tejidos orgánicos se realiza por acción mecánica de la fauna y microorganismos. La degradación o descomposición de moléculas complejas o de compuestos orgánicos más sencillos, que tiene lugar con intervención de los microorganismos, se denomina biodegradación.

La materia orgánica cumple un rol muy importante en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Mejora la agregación y estabilidad del suelo reduciendo la susceptibilidad a la escorrentía y erosión. Aumenta la capacidad de retención de humedad de los suelos, particularmente en aquellos de textura arenosa.

Tiene influencia sobre el color de los suelos, estando generalmente asociados los colores oscuros con mayor contenido de materia orgánica (Molisoles). Es responsable en un alto porcentaje de la capacidad de intercambio de cationes, especialmente en los suelos ácidos tropicales (Latosoles).

En la mineralización de la materia orgánica se liberan cantidades apreciables de nitrógeno, azufre, fósforo y algunos micronutrientes esenciales para el crecimiento y producción de las plantas. Esta liberación es relativamente lenta y evita fuertes pérdidas de nutrimentos por lavado, como ocurre con los fertilizantes comerciales de alta solubilidad. Algunos óxidos amorfos en el suelo pueden formar complejos con la materia orgánica disminuyendo la fijación del fósforo hacia formas no aprovechables por las plantas.

A pesar de todos los efectos beneficiosos de la materia orgánica en los suelos, su uso generalmente es relegado a un segundo plano ya que muchas de las prácticas agronómicas optan en mayor medida por la fertilización sintética de los suelos, en vez de realizar el manejo sostenible de los mismos a través de sistemas de rotaciones agrícola-ganaderas, manejo agrosilvopastoril y prácticas agroecológicas, que permitan mejorar las condiciones de base de un recurso vital para el sostenimiento de la producción.

La formación de los suelos

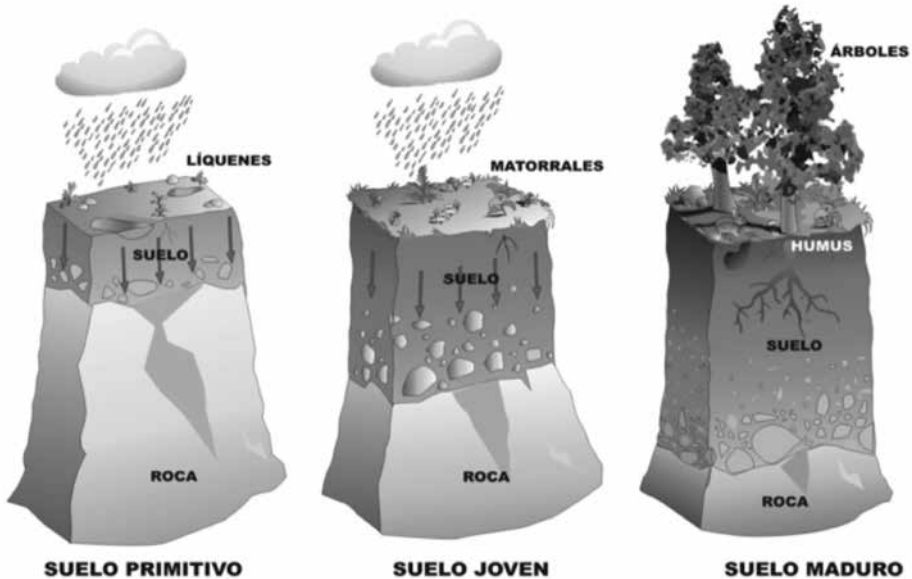
El suelo conforma una muy delgada capa de la corteza terrestre, formada por elementos de origen mineral, orgánico y biológico en tres fases (sólida, gaseosa y líquida). Esto se debe a la alteración (o meteorización) de las rocas de la litosfera (denominada roca madre) y al aporte de los restos de materia orgánica y actividad metabólica de las plantas y de los animales (que nacen, viven y mueren sobre él).

La naturaleza del suelo es dinámica, esto significa que no siempre es igual. Es decir, su origen se debe al ataque erosivo de las rocas, pero su nacimiento propiamente dicho se produce cuando los restos orgánicos se incorporan a los restos minerales. Comienza, entonces, a formarse un suelo joven que luego evoluciona hasta contar con varios estratos superpuestos en horizontes.

La formación general de los suelos es un proceso que varía según los distintos elementos presentes en él y la intensidad con que actúan los factores que intervienen. Podemos nombrar algunos elementos y factores que pueden hacerse determinantes para la formación de suelos, entre los que encontramos:

- **Roca madre:** es la roca original. Sus elementos pasan a constituir el suelo que se forma por encima de ella. Por ejemplo, los suelos calcáreos son formados gracias a las rocas calizas o aquellas rocas con elevado contenido de hierro o aluminio que dan formación a los suelos lateríticos.
- **El Clima:** en aquellas zonas en donde la temperatura es mucho más elevada, la descomposición de la materia orgánica es mucho más rápida, facilitando la formación de humus y alterando químicamente sus elementos. Esto también acelera otros procesos de transformación de materiales inorgánicos, cuyos procesos se incrementan. Sumado a ello, la abundancia e intensidad de la lluvia propicia que algunos elementos de la roca se disuelvan más o menos velozmente.
- **Topografía o relieve:** la acumulación de sedimentos que conforman el suelo es facilitada por la pendiente o las distintas formas que se presentan en el relieve (Ver Imagen).
- **La actividad biológica:** La actividad metabólica de plantas y animales, ciclan nutrientes y aportan a la formación de suelos ricos en materia orgánica, que dan cuenta finalmente de un mayor contenido de humus.
- **La actividad humana:** La economía actual demanda una gran cantidad de recursos naturales e impacta de distinta forma tanto sobre los cambios de uso del suelo (tierra), como sobre los procesos mineros de extracción de nutrientes que cumplen un rol transformativo importante, que en épocas anteriores no tenían.

Procesos de transformación y agentes de transformación de la roca madre en suelo



Fuente: Instituto Superior de Recursos en Red para el Profesorado – Ministerio de Educación, Política Social y Deporte de España (bajo licencia de Creative Commons).

De esta forma, estos elementos y factores interrelacionados inciden directamente sobre la formación de distintos tipos de suelos, proceso que siempre es dinámico. Estos se diferencian por presentar además, diversas propiedades físicas y químicas que determinarán su textura, acidez, estructura y capacidad de intercambio.

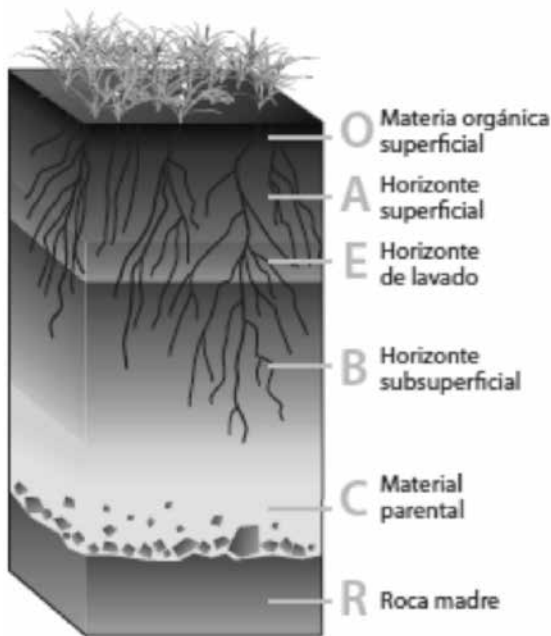
Perfil del suelo

Los horizontes o capas del suelo, hacen referencia a su estructura. En ellas podemos evidenciar la presencia de materiales muy similares a la roca original, los cuales se sitúan en su extremo inferior, mientras que en el superior predominan materiales cada vez más alterados, como producto de múltiples factores externos y actividad interna. Un rol importante en esta diferenciación horizontal es el agua, ya que transporta de manera vertical los materiales; esto puede ser a través de las precipitaciones, arrastrando materiales o bien por ascenso del mismo por capilaridad.

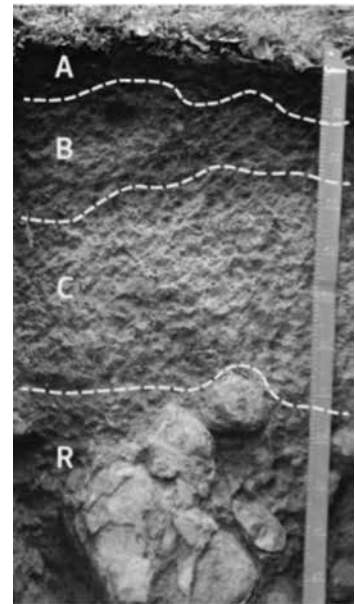
Esta diferenciación a la que hacemos referencia, la podemos observar mediante un corte vertical, denominado “perfil del suelo”, identificando capas de distintos colores y texturas del mismo.

Por ejemplo: el primer horizonte que encontramos se denomina A, y corresponde a la capa superior. Esta por lo general posee un color oscuro debido a la acumulación de humus, formado por materia orgánica que se mezcla con los componentes minerales del suelo.

Seguidamente encontramos el horizonte B, compuestos por minerales aportados por otros horizontes. Debajo de este, encontramos el horizonte C, que es la capa que está más en contacto con la roca madre y poseyendo de esta algunos fragmentos, cuestión que lo diferencia del anterior. Y finalmente, nos encontramos con el sustrato sólido en donde se apoya el suelo, denominado roca madre. Su función es aportar materiales a los demás horizontes.



Esquema del perfil teórico del suelo y los horizontes más relevantes (Fuente: FAO, 2014).



Perfil del suelo a campo (Fuente: FAO, 2014)

Sin embargo, cabe aclarar que no todos los suelos presentan esta diferenciación bien definida en horizontes; por lo general esto es más claro en los suelos fértiles y duros, mientras que en los demás, esta secuenciación es poco desarrollada.

El Suelo

El suelo es un organismo vivo y se constituye en una fábrica de la vida al ser por un lado el espacio donde discurre prácticamente un cuarto de los organismos vivos de la tierra, aunque aún conozcamos menos del 1 % de las especies de microorganismos que en él se encuentran.

El suelo es un sistema dinámico de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos (Primavesi 1982).

Los elementos del suelo pueden ser "fijados" o inmovilizados, oxidándose o reduciéndose o modificando su valencia de acuerdo a condiciones biofísicas del suelo, que determinan la vida y la química y viceversa. Así, elementos normalmente existentes, pero fijados o en formas inocuas, como el aluminio, el manganeso y el hierro pueden ser movilizados o tornarse tóxicos en suelos compactados o adensados y ácidos, y el boro, el molibdeno y el selenio, en suelos compactados salinos.

El Suelo y la Tierra

En muchas situaciones se confunde suelo y tierra. Aquí nos referimos al **suelo**, particularmente teniendo en cuenta la calidad de los suelos en términos de su contenido nutricional, orgánico, biológico, estabilidad y estructura.

La tierra y sus cambios de uso, tienen relación con los efectos del hombre en términos de transformación, en especial de la superficie del suelo derivada del hecho de transformar áreas naturales en espacios industriales, urbanos, periurbanos o rurales. Ya hemos desarrollado previamente en este documento la importancia que tienen los cambios de uso del suelo, no sólo en el perfil productivo de una región sino en el paisaje involucrado y construido.

Respecto de los suelos en Argentina, el origen de los suelos más importantes desde el punto de vista agrícola está desarrollado con sedimentos eólicos cuaternarios que cubren especialmente lo que hemos llamado planicie chaco-pampeana y que responden a las ecorregiones del Chaco Seco y Húmedo, el Espinal y las Pampas. El material está formado por restos de rocas meteorizadas y también contiene cantidades importantes de cenizas volcánicas, producto de la erupción de volcanes andinos.

Estos sedimentos son conocidos como *Loess Pampeano* debido a su similitud con materiales y depósitos loésicos en otras partes del mundo (Frenguelli, 1955; Teruggi, 1957). Desde el punto de vista mineralógico el loess es rico en minerales meteorizables con cantidades conspicuas de calcio, potasio, fósforo y microelementos, así como materiales amorfos de origen volcánico.

Las características físicas del *loess* Pampeano favorecen la formación de horizontes superficiales bien estructurados, profundos, oscuros y adecuados para el desarrollo de raíces.

Las ecorregiones de la Argentina bajo mayor presión de transformación masiva por la agricultura y la ganadería extensiva, son la Pampeana, Chaqueña y el Espinal, que son asimismo aquellas donde discurre la planicie chacopampeana y sobre la que a su vez se asientan los suelos de una mayor calidad como los Alfisoles y los Molisoles.

Geográficamente los Alfisoles están estrechamente asociados con los Molisoles. Se encuentran ampliamente representados, como decíamos, en las planicies chacopampeanas y pertenecen a los Alfisoles principalmente debido a un horizonte superficial que tiene poco espesor o poca materia orgánica o presenta un color muy claro como para ser considerados en un epipedón mólico.

Generalmente ocupan áreas planas a cóncavas entre porciones más altas del paisaje. Con frecuencia tienen un horizonte nátrico y/o régimen de humedad del suelo ácuico (Moscatelli, 1991). Los Alfisoles se utilizan para pastoreo de ganado, como pasturas naturales o pasturas tolerantes a exceso de agua y sodio. Actualmente de la mano de la implementación de nuevas tecnologías y prácticas de manejo, como la siembra directa y la incorporación de nuevos cultivos transgénicos, también hay Alfisoles con menor saturación con bases que los Molisoles, ubicados en el noreste de la Argentina, donde se los puede encontrar asociados con Oxisoles y Ultisoles.

Los Molisoles, ocupan áreas importantes en la planicie chacopampeana y constituyen los suelos dominantes entre los que tienen la mejor aptitud para la agricultura.

La Región Pampeana, tanto húmeda como semiárida, se caracteriza respectivamente por Udoles y Ustoles, con ocurrencia menor de Acuoles en áreas planas utilizadas para la producción de ganado.

Argentina. Principales Tipos de Suelos



Las ecorregiones de Argentina y los cambios en el Uso del Suelo

Un aspecto importante para ayudar a comprender la relevancia de procesos que incumben a transformaciones naturales y antrópicas, reside en lo que el ecólogo argentino, Jorge H. Morello, llamaba la “mirada ecorregional”.

Superando y mejorando notablemente la visión exclusivamente biogeográfica de la distribución de la riqueza biótica, comienza a utilizarse un enfoque que permite describir y especialmente ayudar a planificar la conservación de la variedad y variabilidad temporal-espacial de los seres vivos y los complejos ecológicos que ellos integran.

Se llega de esta forma al concepto de Ecorregión que toma en cuenta los macrocomponentes biofísicos del territorio, poniendo énfasis también en los aspectos socioculturales o agroproductivos o de diseño y contrastes del paisaje.

Una ecorregión (Morello y otros, 2012, Pengue, 2015,) es un territorio de máxima jerarquía, geográficamente definido, en el que dominan determinadas características de relieve, geología, grandes grupos de suelo, procesos morfogenéticos, tipos de vegetación y complejos faunísticos.

Desde el punto de vista evolutivo, la Ecorregión se caracteriza por respuestas ecológicas homogéneas al clima y la tectónica expresadas por la vegetación y el relieve así como por las actividades agrícolas, industriales, urbanas, periurbanas, portuarias y ciudadinas.

Actualmente uno de los factores que está afectando a ecorregiones enteras se asocia con los fuertes cambios de uso del suelo que están directamente vinculados a la agricultura y la ganadería, a través de dos procesos simultáneos: la intensificación productiva y la ampliación de la frontera agropecuaria.

Dos nuevos factores que operan también de manera paralela y recurrente, generan a su vez una fuerte transformación por un lado de la tierra y por el otro del propio recurso suelo, que se ve degradado. La *agriculturización* (Pengue, 2005) remite a los efectos de la concentración en la rotación solamente de productos agrícolas (soja, maíz, trigo), o más concentrado aún en soja (*sojización*) (Pengue 2005). La *pampeanización* (Pengue, 2004, 2005) nos concentra en la “exportación” del modelo productivo y financiero pampeano hacia otras ecorregiones que no son pampa, en el especial, el Chaco y el Espinal.

Argentina abandona de esta forma, uno de los pilares que dieron cuenta del aprovechamiento sostenible (en términos agronómicos) de sus suelos, al eliminar literalmente las rotaciones agrícola-ganaderas, base de la recirculación y utilización más eficiente de los nutrientes generados por el bosteado del ganado vacuno, el descanso de las tierras agrícolas y la consecuente incorporación y enriquecimiento

de la MO orgánico de los suelos, sumado al fortalecimiento en instalación de una rica y diversa micro y mesofauna.

Las regiones que más han sufrido el avance de la frontera agropecuaria para la producción sojera se encuentran en el norte argentino. El país pasó de tener 37.000.000 de hectáreas boscosas en el año 1937 a menos de 31.000.000 en la actualidad, siendo que incluso hasta fines de 2014, luego de la sanción de la Ley de Bosques se desmontaron 2.107.208 hectáreas. El 80% de la deforestación se concentra en cuatro provincias: Santiago del Estero (674.232 ha), Salta (506.968 ha), Formosa (246.134 ha) y Chaco (237.384 ha). Lamentablemente la desfinanciación de la Ley de Bosques y la promoción de una supuesta nueva Ley de promoción de la Forestación, por parte del Ministerio de Medio Ambiente (2016), deja entrever un agotamiento aún mayor de los pocos recursos boscosos del país.

Más allá que se planteen incluso sistemas de “franjás” y corredores de protección (Ver imagen), o se planteen prácticas pecuarias que pretenden emular a la dehesa española (ver imagen), la degradación y exposición de terrenos tan sensibles a la rigurosidad del clima chaqueño, dan cuenta del futuro de pérdida que esos territorios involucran.

Deforestación y Franjas en el Noreste Argentino.



Fuente: H. Giardini (Greenpeace Argentina, 2015).

Deforestación, raleo, implantación de foráneas y pecuaria en el NEA.



Fuente: H. Giardini (Greenpeace Argentina, 2015).

El Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno se desplaza a través de la biósfera en el gaseoso Ciclo del Nitrógeno, en el que la atmósfera con su 78% de nitrógeno por volumen, se comporta como una gran reserva.

El nitrógeno se presenta en forma de nitrato, nitrito, sales amónicas y amoníaco libre disuelto en el suelo. No obstante, la mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra en estado orgánico, ya sea residuos nitrogenados de plantas y animales (humus), en microorganismos o en compuestos orgánicos solubles, como aminoácidos y las amidas. El reaprovisionamiento del suelo depende de la disgregación del humus y la fijación del nitrógeno ya que no contiene nitrógeno o lo tiene en muy escasa cantidad,.

El nitrógeno atmosférico, en forma molecular (N^2), no puede ser asimilado directamente por las plantas o animales. Solamente ciertos microorganismos poseen la capacidad de utilizarlo directamente en un proceso conocido como fijación del nitrógeno. Un tipo de tales microorganismos está compuesto por ciertas especies de bacterias de vida libre en el suelo; existen también algas verdeazuladas, que pueden fijar también el nitrógeno.

Otro tipo consiste en los fijadores simbióticos de nitrógeno. En una relación simbiótica, dos especies de organismos viven en un íntimo contacto físico, cada uno de ellos contribuyendo a los procesos físicos del otro. Los fijadores simbióticos de nitrógeno son las bacterias del género *Rhizobium*; están asociadas con unas 190 especies entre árboles y arbustos, así como con todos los miembros de la familia de las leguminosas.

Las legumbres importantes para los cultivos agrícolas son el trébol, la alfalfa, el poroto, y hoy especialmente por su importancia y producción global, la soja. Las bacterias *Rhizobium* infectan las células de las raíces de estas plantas, en los módulos de las raíces producidos conjuntamente por la acción de las plantas y las bacterias. La bacteria suministra el nitrógeno a la planta a través de los procesos de fijación, mientras que la planta suministra los nutrientes y los componentes orgánicos que necesita la bacteria.

Otra fuente de nitrógeno se encuentra en los procesos abióticos como las descargas eléctricas que, durante las tormentas, pueden producir 5 a 10 kg/ha/año de compuesto de nitrógeno.

Como la mayoría de las veces las plantas no son capaces de usar el nitrógeno más que bajo la forma nítrica o amoniacal, es necesario que el nitrógeno orgánico del suelo se mineralice.

Esta mineralización de la materia orgánica muerta es el trabajo de los microorganismos descomponedores que actúan unos a continuación de otros. Las tres fases principales de esta mineralización son las siguientes: la amonificación, es obra de microorganismos como *Micrococcus* que transforman el nitrógeno aminado de las proteínas en amoníaco; la transformación del amoníaco en nitrito es obra de las *Nitrosomonas*; la transformación que convierte los nitritos en nitratos es obra de *Nitrobacter*.

El nitrógeno se pierde fuera de la biosfera por la desnitrificación, un proceso en el que ciertas bacterias del suelo transforman de nuevo el nitrógeno en forma utilizable por las plantas, en N₂. La desnitrificación completa la porción orgánica del ciclo del nitrógeno, a partir del cual es devuelto, otra vez a la atmósfera.

Como el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, un déficit de este elemento generalmente se observa con un amarillamiento o clorosis general de la planta; los tallos pueden volverse rojos o de color púrpura debido a la producción excesiva de antocianina.

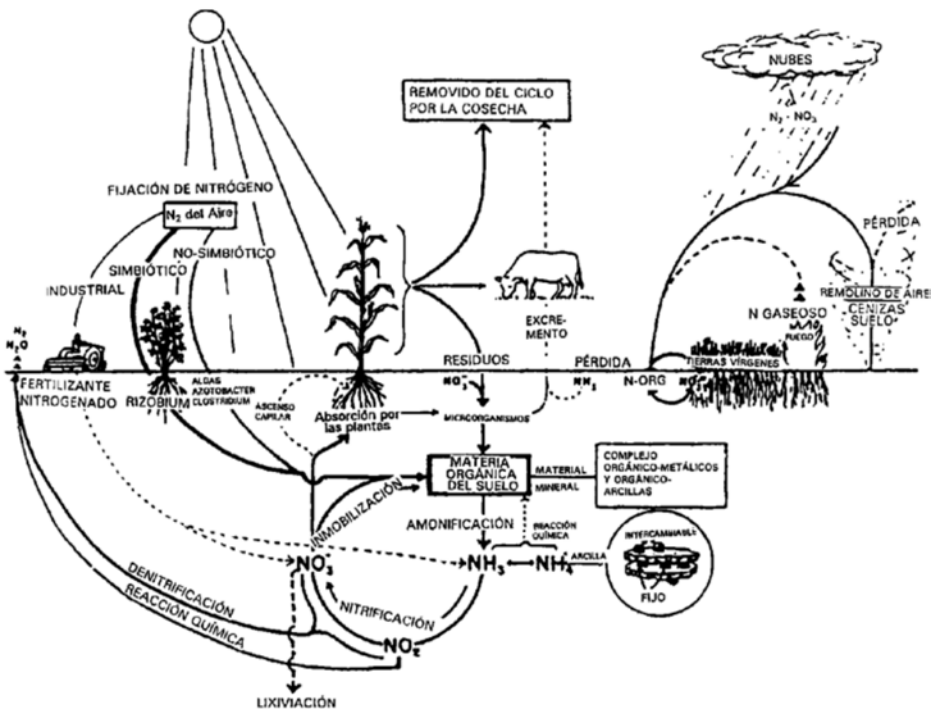
El nitrógeno es muy móvil dentro de la planta y se dirige progresivamente hacia las hojas más jóvenes durante el crecimiento, por lo que son las hojas viejas las que muestran primero los síntomas de deficiencia.

Se puede resumir los principales roles del N en la nutrición de las plantas en: a) Componente de la molécula de clorofila; b) componente de aminoácidos, unidades estructurales de las proteínas; c) esencial para la utilización de carbohidratos; d) componente de las moléculas de enzimas, vitaminas y hormonas; y e) rol de estímulo del desarrollo y actividad radicular.

Las plantas constituyen el centro del ciclo del N, ya que son ellas las que absorberán las diferentes formas aprovechables de este elemento a través de su sistema radical. El balance del N en el suelo (relación entre pérdida y ganancias) depende mucho de lo que ocurra en la planta, la cual tiene una capacidad de absorber de 100 a 300 kg/ha de N dependiendo del tipo de planta.

Por ejemplo, en el caso de maíz se cosecha la mazorca, pero en los campos agropecuarios a veces también se cosechan hojas y tallos con fines de alimentación animal o incluso hoy, pensando en nuevos biocombustibles o biomateriales. Esto implica una pérdida considerable del N del suelo, el cual debe ser sustituido para el próximo proceso productivo. La incorporación de restos de cosechas (hojas y tallos) al suelo permite regresar hasta el 50 % del N absorbido por las plantas, en forma de materia orgánica.

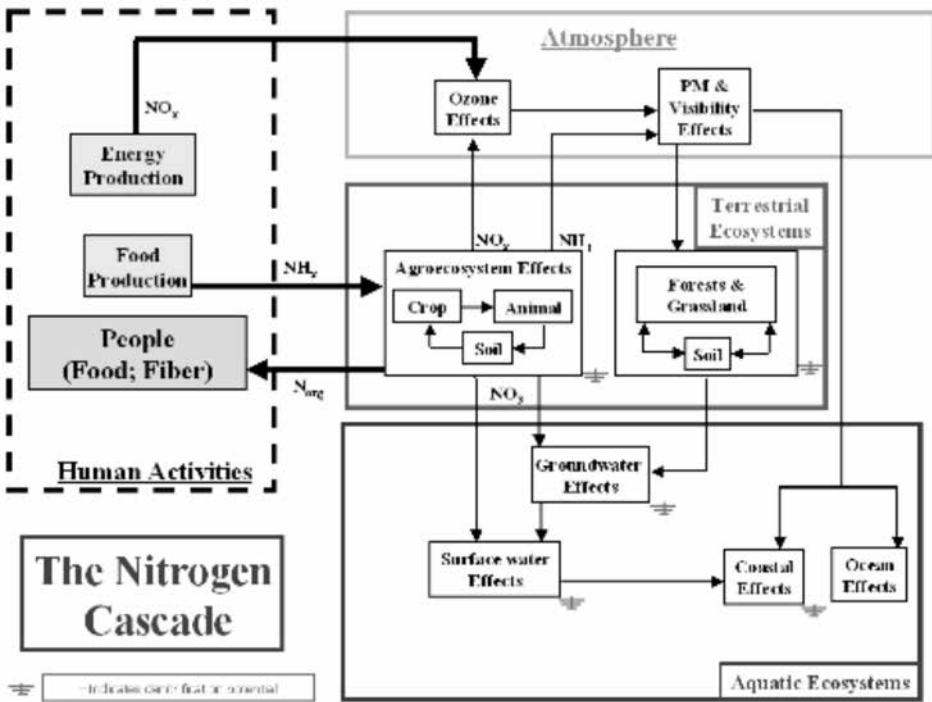
Fases del Ciclo del Nitrógeno y la contribución animal



Si las plantas (pastos) son consumidas por animales entonces el manejo de sus excretas (estiércol) es un factor de manejo muy importante en el regreso del N al suelo en forma orgánica.

El nitrógeno es un elemento esencial a la producción agrícola y especialmente luego de la invención de la síntesis de amonio a través del proceso Haber-Bosch, que algunos autores (Smil 2001) consideran las más importante invención técnica del siglo XX, argumentando en favor de la sintetización de los fertilizantes nitrogenados.

La cascada de nitrógeno



Fuente: Galloway y Cowling (2002)

El proceso de transformación del nitrógeno y su flujo a través de los sistemas terrestres, y en particular la inyección de nitratos y amonio en los sistemas productivos, sumado a la actividad industrial y a los procesos de fijación simbiótica en leguminosas motorizadas por la creciente deriva de soja, generó un efecto importante en la escala global y regional, conocido como "cascada de nitrógeno" (Ver Diagrama), con efectos visibles en los ecosistemas terrestres, acuáticos y neo-ecosistemas humanos.

Entre estos impactos se cuentan los efectos de esta segunda ola de urbanización mundial, en la cual ya más de la mitad de la población mundial se concentra en ciudades y llegará al 70 % en 2050. América Latina tiene dos grandes colosos agrícolas (Argentina y Brasil) y es un caso paradigmático, con casi el 90 % de su población viviendo en ciudades.

Los impactos ambientales se reflejan no sólo en el campo sino también en ciudades. Por ejemplo, Faerge y Penning de Vries (2001) calcularon en 20.000 toneladas métricas, el flujo anual de nutrientes en ciudades como Bangkok, donde el problema de la concentración y contaminación con nutrientes también es un gran tema de la gestión urbana.

La ganadería intensiva (ganado estabulado o feedlots) y la agricultura industrial (transgénica) son también dos fuentes importantes de contaminación, en especial, por nitrógeno y fósforo.

A ello se suma el flujo de nutrientes en las cuencas, donde la intensificación y la pendiente del suelo son cuestiones relevantes y complejas a la vez. Por ejemplo, algunos autores (Seitzinger y Kroeze 1998) estimaron que el flujo global de nitrógeno orgánico disuelto desde las cuencas hacia los océanos alcanzaba los 18, 291 Tg.

Una parte de este flujo y la acumulación de nitratos y otros productos nitrogenados, afectan a la salud humana. En Argentina, la Cuenca del Plata representa uno de los espacios territoriales más intensos de transformación en términos rurales, industriales, urbanos y periurbanos, en donde el flujo de estos materiales es el más intenso.

El ciclo del Fósforo

El fósforo, elemento importante de la materia viva, es más raro que el nitrógeno en la biosfera y su depósito principal está constituido por diversas rocas que ceden poco a poco sus fosfatos a los ecosistemas.

El paso del P del estado orgánico al estado inorgánico está asegurado por las bacterias y hongos.

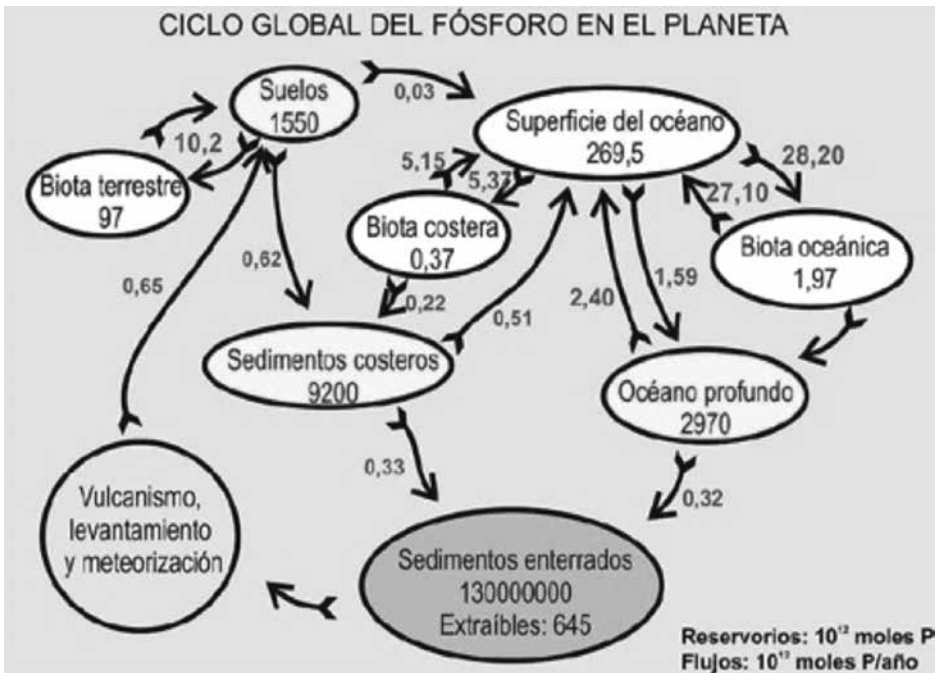
Las plantas absorben el fósforo (P) fundamentalmente bajo la forma de ortofosfato, principalmente H_2PO_4 . Las cantidades relativas de estas formas aniónicas absorbidas por las raíces dependen del pH del suelo.

Las fuentes más importantes del P en el suelo son los minerales, la materia orgánica, los fertilizantes y los residuos vegetales y animales. El P absorbido por la planta parcialmente, regresa al suelo a través de los residuos después de cosechar el cultivo o por el estiércol de los animales.

El P es un componente de los ácidos nucleicos, así como de los fosfolípidos, como las lecitinas, que son constituyentes de las membranas citoplasmáticas. Los fosfatos orgánicos, como los fosfatos de azúcares, desempeñan un papel esencial en el proceso metabólico.

La materia orgánica al mineralizarse libera el P orgánico en formas fácilmente aprovechables por las plantas o puede adsorber el P en sus radicales orgánicos. Una vez que el P es adsorbido por el sistema radical de las plantas éste pasa a desarrollar una serie de funciones muy importantes para el exitoso desarrollo y producción de los cultivos. Una de las actividades más importantes es que el P es constituyente de los cromosomas de las células, ya que es componente esencial en el ácido desoxirribonucleico, responsable de las características hereditarias de las plantas y también del ácido ribonucleico necesario en la síntesis de proteínas y otros procesos metabólicos.

La presencia de fósforo es fundamental en los procesos de floración y fructificación de las plantas incluyendo la formación de semillas, desarrollo de las raíces; debido a su efecto en la división celular, la deficiencia de fósforo en las plantas se manifiesta en poco crecimiento, retardo en la madurez y semillas con bajo porcentaje de germinación.



Fuente: Grupo Fosfatos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

En un mundo con una agricultura industrializada, una de las principales preocupaciones reside en sostener el suministro de los recursos de base de manera permanente. Y en el caso de la roca fosfórica la cuestión no está aún saldada, lo que ha hecho que la Unión Europea por ejemplo, la considere en este momento entre uno de sus 20 recursos prioritarios (Buckwell y Nadeu 2016). Las reservas de roca fosfórica están geográficamente muy concentradas, ya que el 85 % de la misma se localiza en cuatro países: Marruecos, Sahara Occidental, China y los Estados Unidos. Además su extracción o utilización por reciclado, tiene directa relación con los precios relativos del mercado actuales y futuros. Según un informe reciente (Buckwell y Nadeu) el pico de extracción de fósforo se producirá en 2035 y de ahí, la calidad de los fertilizantes fosfatados podría comenzar a decrecer de manera importante, en especial por su calidad y los costos de extracción de materiales.

Ciclo del Potasio

El potasio (K) es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivientes. Las plantas terrestres lo requieren en abundante cantidad, siendo ésta, frecuentemente, tan elevada o aún mayor que la cantidad requerida de nitrógeno.

Este elemento es absorbido por las plantas en forma catiónica y su principal fuente en los suelos son los minerales primarios como las micas y los feldespatos potásicos, biotita después de la erosión.

El potasio fomenta la fotosíntesis, activando las enzimas que promueven la transferencia de energía, y estimula la síntesis de azúcares, almidón, proteínas y demás productos orgánicos. También favorece la síntesis de proteínas e incrementa el efecto de los abonos nitrogenados.

Es evidente que el K juega un papel importante como regulador osmótico y, por alguna razón, no puede ser sustituido satisfactoriamente en este aspecto por ningún otro catión, aunque en los halófitos, el sodio lo reemplaza en una cierta proporción.

Los requerimientos de las plantas por K generalmente son altos, por lo que el manejo de los residuos después de la cosecha es importante en cuanto a los niveles de K que el suelo tendrá disponible para el próximo cultivo. En el caso del maíz, si después de cosechar el cultivo también se cosechan hojas y tallos con fines de alimentación animal, entonces se está produciendo una pérdida sustancial de K, parte del cual pudiera regresar al suelo en la forma de estiércol.

Su función es más de tipo catalítico en el metabolismo de los carbohidratos y formación de almidón y síntesis de proteínas. Además, tiene funciones tales como la regulación de las actividades de otros elementos nutritivos, la neutralización de algunos ácidos orgánicos, la activación de varias enzimas, la promoción del crecimiento del tejido y relaciones de agua en las plantas.

Micronutrientes u oligoelementos

Los micronutrientes más utilizados son: boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cloro, cobalto y también zinc.

Las plantas requieren los ocho micronutrientes ya mencionados en pequeñas cantidades, ya que su presencia es importante en sistemas que controlan el funcionamiento de las plantas y no forman parte de tejidos estructurales y protoplasmáticos. Sin embargo, la suplencia de estos elementos es tan difícil de mantener como las de los macroelementos.

Los macroelementos como su nombre lo indica, son demandados en una mayor escala que los micro y los oligoelementos. No obstante, el déficit de estos afecta la producción de biomasa de un modo igual o más complejo que la ausencia de los anteriores.

Como las "vitaminas", los micronutrientes absorbidos en menor cuantía, son más necesarios o lo son igualmente para los procesos de crecimiento y desarrollo específico de cada especie.

Incluso, su ausencia "limita" de manera sustantiva a la producción agropecuaria, un hecho visto con especial atención por parte de la industria de fertilizantes en especial hacia el futuro de la producción de granos.

Menor volumen demandado, menores costos de transporte y por otro lado, un costo para el productor mucho más alto, cierran una ecuación económica que comienza a ser vista con interés por el mercado de los fertilizantes sintéticos.

Ciclo del hierro

Las plantas generalmente absorben el hierro (Fe) en su forma ferrosa, aunque también pueden usarlo en su forma férrica. La forma ferrosa es absorbida rápidamente por las plantas y en condiciones alcalinas, se oxida rápidamente a la forma férrica mucho menos abundante. El Fe tiene funciones en las enzimas que controlan el sistema respiratorio de las plantas y en la formación de clorofila. La deficiencia en las plantas se presenta en las hojas jóvenes, primero debido al poco movimiento de este nutrimento en la planta. La sintomatología de la deficiencia es una clorosis intervenal permaneciendo las venas verdes y el resto de las hojas amarillas y es común en suelos calcáreos o alcalinos en cultivos como cítricos, hortalizas, porotos y ornamentales.

Al igual que para el resto de nutrientes el punto de partida del Fe en el suelo son los minerales primarios, que incluyen silicatos ferromagnéticos, como olivino, augita y biotita; estos minerales junto con las biotitas constituyen la mayor fuente

de hierro en las rocas ígneas. A partir de la meteorización de los minerales primarios se libera Fe soluble a la disolución, que podrá ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos, o bien ser transformado a minerales secundarios tales como sulfuros, carbonatos, minerales de arcilla, pero fundamentalmente óxidos e hidróxidos de distinta composición y grado de cristalización, que serán los que controlen principalmente la solubilidad de este elemento en el suelo (Juarez,M; Cerdam,M; Sanchez-Sanchez, A.2012)

Ciclo del manganeso

Este nutriente es absorbido por las plantas en forma catiónica. Sus funciones son la formación de clorofila, por lo que su deficiencia generalmente se presenta como clorosis intervenal similar a la del hierro. Los efectos visibles de una falta de manganeso son más variados que para otros elementos minerales.

Los síntomas pueden aparecer primeramente tanto en las hojas jóvenes como en las maduras, adoptando una gran variedad de distribuciones necróticas y de clorosis. Algunas plantas incluidas los manzanos, presentan clorosis que se manifiesta sobre una red de nervaduras verdes.

Ciclo del zinc

Es absorbido como catión divalente. Es necesario en el metabolismo de las proteínas, en la producción de clorofila y activador de muchos sistemas enzimáticos.

Debido a su baja translocación en las plantas, los síntomas de deficiencias de Zn se observan primero en las hojas jóvenes y es acompañada de una drástica reducción en el crecimiento del tallo. En el maíz y el sorgo la deficiencia se manifiesta como una banda blanca que comienza en la base de la hoja y se alarga hacia la punta en forma paralela al eje central, el cual permanece verde al igual que los bordes de las hojas.

Ciclo del cobre

Las raíces de las plantas lo absorben como catión divalente. Es un activador de muchas enzimas importantes en varios procesos metabólicos en las plantas.

Los síntomas de deficiencia dependen del cultivo. En el maíz las hojas más jóvenes adquieren un color amarillo y se hacen pequeñas y en la medida en que la deficiencia sea más severa las hojas jóvenes tienden a cambiar el color amarillo hacia blanco y las hojas maduras comienzan a secarse desde la punta.

Ciclo del boro

Este elemento nutritivo es absorbido en varias formas aniónicas. Dado que el boro es poco translocado en la planta, especialmente hacia los sitios de crecimiento, el primer síntoma visual de su deficiencia es poco crecimiento de las yemas terminales y cambio de color y muerte de las hojas jóvenes.

Ciclo del molibdeno

Se encuentra en las disoluciones del suelo en forma de molibdatos. A pesar de ser requerido en muy pequeñas cantidades sus funciones en las plantas son muy importantes como en la fijación simbiótica del nitrógeno y las reducciones del nitrato en la síntesis de aminoácidos y proteínas, por lo que una deficiencia puede resultar en una acumulación de nitrato.

En una leguminosa esta deficiencia se presenta como amarillamiento general y poco crecimiento de la planta, lo cual se debe en realidad a la falta de nitrógeno y a que el nitrógeno atmosférico no puede ser fijado por la falta de molibdeno.

Ciclos del cobalto y el cloro

Las plantas absorben mucho más cloro que el que ellas requieren, ya que este elemento generalmente acompaña como anión a la mayoría de los cationes en el suelo.

El cobalto al igual que el cloro es requerido en tan pequeñas cantidades por las plantas, que su deficiencia es difícil de encontrar.

Capítulo 4

El agotamiento de un recurso escaso: los suelos

La agricultura es la madre fecunda que proporciona todas las materias primas que dan movimiento a las artes y al comercio.

Manuel Belgrano

Los suelos del mundo y los de América Latina ¿Hacia la desaparición de los mejores suelos del planeta?

La producción de alimentos estará restringida, por lo menos durante los próximos treinta años por tres variables:

- 1) La actual lógica productivista y dependencia del suelo como elemento crucial para esta provisión (más allá de las consideraciones de los mares, el aire u otras fuentes y espacios para la producción).
- 2) La tecnología actual y futura del mediano plazo, que ya presenta a pesar de sus tremendos cambios, su plateau productivo
- 3) El agotamiento de los mejores suelos del mundo y las presiones sobre los mismos del comercio internacional de granos.

En la Tierra, de 148.000.000 km² de tierra, más de 31.000.000 de km² son arables o bien con calidad productiva para la producción agrícola; sin embargo, esas tierras se pierden por erosión a una tasa de 100.000 km² por año.

Además solo el 23 por ciento de esas tierras disponibles responde a suelos ricos en nutrientes y con escasas o nulas limitaciones productivas.

Entre estos ricos suelos se destacan en América (ver mapa), los conocidos como pertenecientes al famoso cinturón maicero (*corn belt*) de los Estados Unidos, que ocupan gran parte de los territorios de Illinois, Indiana, Iowa, Missouri, Ohio y parte de los estados de Kansas, Michigan, Minnesota, Nebraska y Wisconsin, y los de nuestras Pampas en particular las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y San Luis, junto con muchos suelos chaqueños, hoy puestos en producción bajo un elevado riesgo de insostenibilidad ambiental y social.

Los suelos más importantes desde el punto de vista agrícola están desarrollados en sedimentos eólicos cuaternarios que cubren las Planicies Chaco-Pampeana. Conocidas como las ecorregiones Chaco Seco y Húmedo, Espinal y Pampa. El material está formado por restos de rocas meteorizadas y también contiene cantidades significativas de vidrio volcánico, producto de la erupción de volcanes andinos.

Este sedimento se conoce como **Loess Pampeano** debido a su similitud con materiales y depósitos loésicos en otras partes del mundo. Desde el punto de vista mineralógico el loess es rico en minerales meteorizables con cantidades conspicuas de calcio, potasio, fósforo y microelementos, así como materiales amorfos de origen volcánico. Las características físicas del loess Pampeano favorecen la formación de horizontes superficiales bien estructurados, profundos, oscuros y adecuados para el desarrollo de raíces.

Otra área agrícola americana con ricos suelos tipo chernozem, es la pradera canadiense, considerada una continuación de la norteamericana, integrada por las provincias canadienses de Alberta, Saskatchewan y Manitoba, que ocupan una superficie de 1.960.681 km².

En Eurasia, se encuentran también ricos suelos, desde el nordeste de Ucrania, pasando por la Región Central de la tierra negra (la tierra de los chernozem) en Rusia, que abarca las provincias (óblasti) de Bélgorod, Kursk, Lipetsk, Oriel u Orël, Tambov y Voronezh siguen hacia el sur del país (por el norte de Kazajistán) y casi llegan residualmente a proyectarse hasta el sur de Siberia.

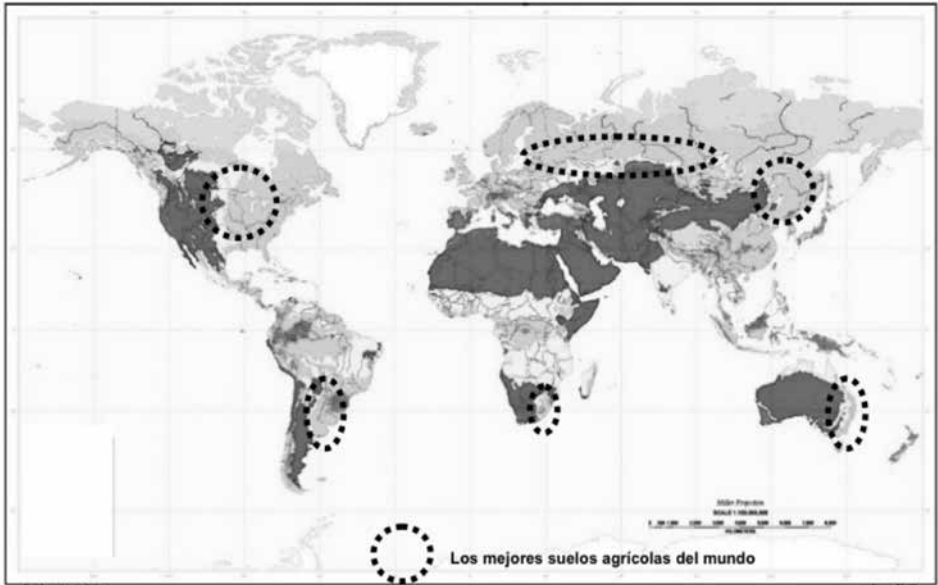
Otras áreas ricas en suelos en Asia, pero severamente afectadas se encuentran en China que tiene 94.970.000 de hectáreas de tierras cultivadas, concentradas sobre todo en las llanuras del Nordeste, Norte de China, de los Cursos Medio e Inferior del Changjiang, el delta del Zhujiang y la depresión de Sichuan.

Una gran proporción de la llanura del Nordeste tiene suelo negro y fértil. La llanura de los Cursos Medio e Inferior del Changjiang está colmada de lagos, lagunas, ríos y riachuelos, conocida como "*tierra de los peces y los granos*". Es la principal zona productora de arroz y peces de agua dulce.

Además, pero en menor cuantía encontramos mundialmente, las zonas productoras del *veldt* (o veld) de Sudáfrica que ocupa unos 300.000 km² y los territorios rodeando los desiertos en Australia, especialmente hacia el este del país.

No obstante, la mayoría de los suelos mencionados tienen igualmente limitaciones restrictivas en términos climáticos (como los de EE.UU., Canadá, Rusia o China) o por agotamiento por nutrientes (como el caso de los suelos chinos, utilizados ya durante miles de años), a excepción hasta ahora de un único caso: **suelos pampeanos**.

Los grandes tipos de suelos y la ubicación de los mejores suelos agrícolas del mundo



Relaciones con la producción

En la teoría económica, la doctrina sobre las bondades de la libertad de comercio lleva el nombre de "teoría de las ventajas comparadas" (Martinez Alier, 1998). Sin embargo, bajo esta visión poco caso se hace sobre las formas de extracción y degradación de los recursos que hacen a ese crecimiento económico.

Como se argumentó, Argentina ha exportado y exporta millones de toneladas de nutrientes naturales que por supuesto, no se recuperan de manera racional. La actual demanda por agrocombustibles, no solo degradará y producirá una mayor deforestación en tierras hasta ahora cubiertas por selvas y bosques sino que, como aquí argumentamos, producirá una importante extracción de nutrientes y por ende de suelo virtual, de las mejores tierras del mundo.

Es a partir de entonces, donde comienzan a escucharse tanto en el discurso oficial como en el privado, demandas crecientes sobre la necesidad de insumos externos para sostener e incrementar la producción. La demanda por un aumento en el consumo de fertilizantes minerales es una de ellas. Ya entrados en el siglo XXI esta demanda es aún mucho más intensa, al percibirse que el modelo productivo no puede sostenerse sin el consumo de fertilizantes minerales.

La reposición mineral de nutrientes no es una solución de largo plazo, dado que repetiremos los mismos errores que Europa o los EE.UU., produjeron derivados de sus sistemas de producción y manejo tecnológico. Hoy padecen sus efectos en términos de contaminación, eutrofización y degradación de ecosistemas.

Al pasivo ambiental en tantas áreas de este país, se suma la degradación y pérdida de estructura y nutrientes de muchos de los suelos más ricos del mundo, aquellos alojados en la Pampa Argentina, y que fueron la base de su riqueza, que si bien siempre mal distribuida, permitió ciertos procesos de expansión y progreso en épocas pasadas.

La fuga de materiales - resultado de la erosión - sumada a una extracción minera de nutrientes y el abandono de las rotaciones con ganadería, está planteando que estos suelos se vean obligados a ser fertilizados masivamente, con agroinsumos sintéticos, en poco tiempo.

Degradación, exportación de nutrientes como suelo virtual, erosión y desertificación tienen una directa consecuencia ambiental, escasamente perceptible hasta su materialización en la imposibilidad productiva, lo que se manifiesta en algo aún más terrible: el aumento de la pobreza, la devaluación económica de los recursos y el aumento del costo social.

Históricamente Argentina tuvo sobre los suelos pampeanos, un proceso de descarga y reposición que le permitió de alguna forma en su historia agrícola centenaria, mantener su base de nutrientes, bajo un proceso de recuperación natural. En algunos casos, y por cierto, desde los orígenes de la agricultura estos procesos tendieron a disminuir, pero nunca hasta ahora llegaron a poner en riesgo la base productiva. Actualmente, un nuevo proceso de intensificación de la agricultura, de base sojera, produjo una extracción selectiva de nutrientes con escasa posibilidad de recuperación natural. Algunas tecnologías, como la siembra directa, pueden mostrar una mejora en algunos indicadores de la calidad del suelo, lo que no podría extenderse, de todas formas a una sustentabilidad asegurada del recurso, en tanto y en cuanto esta tecnología se sostiene en el uso consuntivo de herbicidas como base de su modelo productivo.

El caso de la agricultura sojera industrial es entonces, especial. La recuperación de los nutrientes, no se ha realizado como ya se mencionó por la vía natural ni tampoco por la vía de la reposición mineral, estando aún los consumos muy alejados de la demanda potencial de cada cultivo. *Por tanto, es más que claro que la riqueza exportada proviene directamente del suelo pampeano.*

La historia de los cultivos en Las Pampas se desarrolló sin el agregado de fertilizantes minerales. La llegada de estos fertilizantes nitrogenados y fosforados a los planteos de cereales y en menor medida, de oleaginosas, ha adquirido solo recientemente (última década), una dimensión importante, lo que ha estado

asociado mas a la posibilidad de *augmentar los rendimientos de los cultivos que a una conciencia sobre la necesidad de reposición de nutrientes del sistema para conservar el capital natural.*

Prácticamente en las primeras etapas de la agricultura argentina, en especial en los sistemas convencionales pampeanos de las décadas de los sesenta, setenta y ochenta, relacionados a la rotación agrícologanadera en especial con trigo, no se utilizaban agroquímicos ni fertilizantes, lo que bien pudo reconocerse en esos tiempos como una práctica orgánica, si bien no certificada.

En el caso de la soja, algunos estudios indican actualmente que con una mayor intensificación en el uso de los fertilizantes y la aplicación de riego suplementario, con las variedades disponibles, se podrían alcanzar rendimientos de más del 30 % que los actuales. No se ha evaluado, la extracción diferencial y los costes ambientales de estos incrementos de productividad que se esperan en las próximas campañas. Más complejo será el panorama con la llegada de las nuevas sojas "línea Intacta" (2014 en adelante), que se difundieron en el NEA y actualmente en la región pampeana, con una productividad reconocida algo mayor.

Según relevamientos recientes, la soja está comenzando una etapa de adopción acelerada de la fertilización mineral. La incidencia del gobierno y de las empresas, al no sugerir ninguna otra recomendación más integral a la extracción reconocida por todas, es limitada, parcial y de corto plazo.

Ya existe una manifiesta preocupación sobre la información generada acerca de la situación de los suelos en la Argentina, en cuanto a la insustentabilidad de la producción, tanto en el área pampeana como extrapampeana, llamando a la atención sobre la importancia de la fertilización mineral. La escasa reposición de nutrientes por fertilizantes es el otro punto a considerar, y que en el caso del fósforo es inferior al 20 por ciento de lo extraído por el cultivo de soja. Esta situación se debe principalmente a que una buena parte del cultivo se realiza en tierras con pocos años de agricultura (por ej. Región Chaqueña) sobre suelos ricos en ese elemento, pero con niveles de fertilidad en acelerado descenso.

Degradación y acciones humanas

La intensificación del modelo agrícola y las nuevas demandas. Una introducción a un problema complejo.

Argentina es uno de los principales proveedores de biomasa, tanto para alimentos como históricamente lo ha sido como así también ahora, para la provisión de biocombustibles y biomateriales. El país, casi ha triplicado su producción de biomasa agrícola, pero también ha perdido, en igual proporción, agricultores y lo mejor de su medio ambiente natural. Hay dos factores principales que promueven

la expansión de la producción de maíz y soja: cereales y alimentos en el mercado global para alimentar animales (cerdos y peces) y la nueva demanda de exportación de biocombustible.

La producción de soja se incrementó en proporciones sin precedentes, con cultivos que aumentaron de un área de solo 38.000 hectáreas en 1970 a millones de hectáreas hoy en día. Aproximadamente el 70 % de la soja cosechada se convierte en plantas procesadoras de aceite, la mayoría de la cual se exporta, representando el 81% del aceite de soja exportado en el mundo y el 36 % de alimento de soja.

El área total de soja transgénica cultivada en Argentina es cuatro veces el área cultivada con maíz, y las tendencias muestran que los cultivos de soja y maíz aumentarán, desplazando a otras cosechas, como el girasol y el sorgo, en la principal área rural de producción en la Pampa, Argentina.

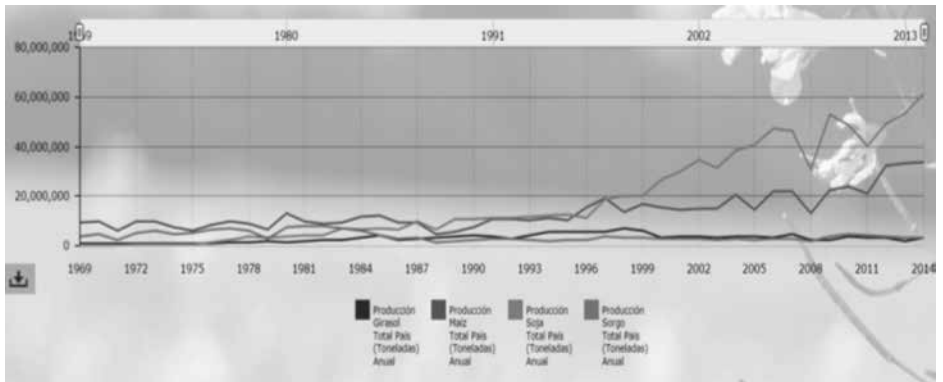
El grado del desplazamiento de cosechas es alarmante. Si comparamos los 10 años pasados de la producción de las principales cosechas de verano (sorgo, maíz, girasol, algodón, arroz y soja) entre 1995/1996 y 2007/2008, el área de cultivos de sorgo aumentó en 159.320 hectáreas y de maíz en 597.450 hectáreas, mientras que la producción de girasol, algodón, y arroz disminuyó en 750.600, 679.800, y 27.400 hectáreas, respectivamente. En 1996, se dio la primera cosecha transgénica, soja RR. Se liberó comercialmente en Argentina, un año después que en los EE.UU. (1995). Para el 2008, toda la soja que se producía en Argentina ya era transgénica.

La llegada del sistema de siembra directa, vinculado a la soja transgénica y su herbicida asociado (el glifosato) significa que más soja puede sembrarse (Dalgaard y otros., 2007), y el mercado internacional promueve esto en un grado inimaginable, en virtud de la creciente demanda de China para alimentación de sus cerdos y peces; de Europa para la producción de cerdos y de EE.UU., para sus mezclas de biodiesel, es decir, la creciente industria de los biocombustibles.

La combinación de estas dos técnicas incrementó el nivel de la agricultura intensiva para la exportación. El objetivo principal es competir en el mercado mundial agrícola. Esto no es una tarea fácil ya que la subvención a la agricultura recibida en muchos países, a menudo, distorsiona el mercado.

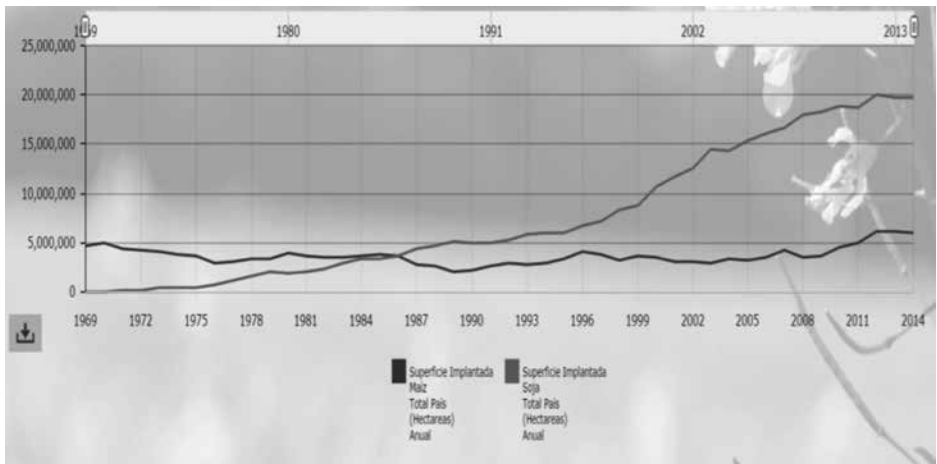
Sin embargo ahora, mientras todavía nos esforzamos por manejar este crecimiento desigual, el país enfrenta un nuevo dilema más potente: el abastecimiento de materias primas tiene que aumentarse adicionalmente, ampliando las fronteras rurales mucho más allá de cualquier límite racional. La demanda de bioenergía ha afectado el escenario de los alimentos y la energía a nivel regional y global, y tiene un fuerte impacto económico. Esto probablemente llevará a una situación donde millones de toneladas de alimentos serán usados para suplir la voracidad de energía no sostenible de economías sobre-desarrolladas, empeorando así la desigualdad global que ya existe entre la mayoría de los miembros de la especie humana.

Producción total en millones de toneladas para el cultivo de soja y otros cultivos en las temporadas de siembra primavera-verano del hemisferio sur, en la Argentina.



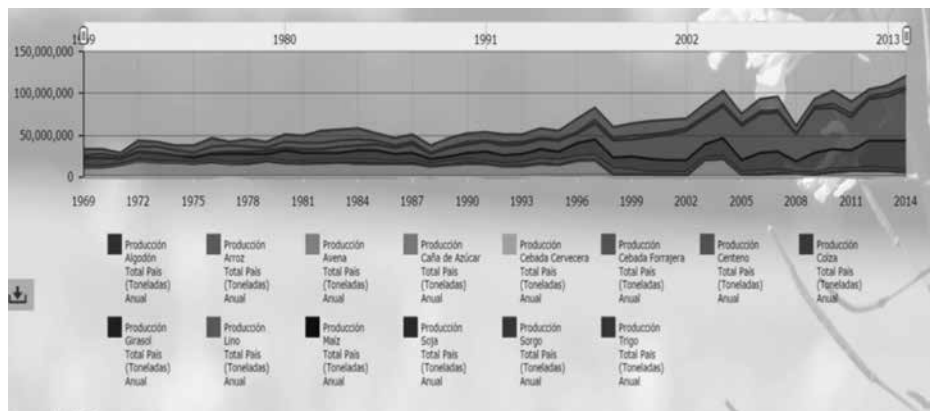
En los últimos 25 años, la Argentina pasó de producir el 70 % del área sembrada con cereales y 30 % con oleaginosas (o proteinosas como la soja), a revertirse actualmente, concentrándose la producción en más de un 70 % con soja, girasol y otras oleaginosas de menor cuantía por volumen.

Gráfico. Superficie implantada con soja y maíz en la Argentina



Fuente: SIIA, Ministerio de Agroindustria Argentina.

Producción en millones de toneladas de los principales cultivos anuales de la Argentina



Fuente: SIIA, Ministerio de Agroindustria Argentina.

El cambio de gobierno y color político, la eliminación general de retenciones a los granos y la baja progresiva en el caso específico de la soja, la caída de los precios internacionales y también la caída relativa en precio de los insumos, comienzan a mostrar ciertas tendencias de ajustar a lo “ya conocido” de la década anterior.

Es así que mientras la campaña triguera 2015/2016 cerró con 3,6 millones de hectáreas sembradas, el aumento para la campaña siguiente (2016/2017) se proyecta hacia las 5,5 millones o casi 6 según algunos análisis proyectados para el trigo y donde además todos los campos que “aguantan” dos cosechas consecutivas de manera recurrente (como el caso de la ecorregión pampeana en lo general), volverán al ciclo trigo-soja (el conocido ciclo histórico de los años noventa y siguientes de trigo, cosecha en diciembre y siembra de una soja “de segunda” en forma inmediata).

Es posible sumar o reemplazar en ese ciclo de rotación, pero con una mucho menor incidencia al maíz, o bien volver a hacer una soja de primera y luego incluso un maíz. Los menores precios llevaron a los productores a concentrarse en la soja y mantener ocupados sus campos con más granos al bajarse también las retenciones.

Suelos y Economía

La producción agrícola intensiva argentina, concentrada en el paquete tecnológico de la Siembra Directa + Glifosato + Cultivo Transgénico ha devenido en una recurrencia productiva que está atentando fuertemente contra el propio manejo agronómico y la economía de la mismísima agricultura industrial.

Cuatro son los factores que coadyuvan para la insustentabilidad agronómica del modelo agrícola industrial, tan promovido por los sucesivos gobiernos argentinos y la agroindustria privada asociada:

- 1) La intensa y acelerada aparición de malezas resistentes
- 2) La pérdida de nutrientes de los suelos
- 3) La compactación de suelos derivada de la siembra directa
- 4) Los problemas de erosión (hídrica y eólica) en especial derivados de la monocultura (monocultivo) agrícola.

Los cuatro implican costos directos e indirectos a la producción agropecuaria. La ya recurrente aparición de malezas, en algunas regiones del país, en especial el norte argentino, comienza a mostrar aumentos de hasta el 40 % en los costos de control con herbicidas (Pengue 2015).



Apertura de la Expoagro, la muestra más grande de la agricultura industrial en la Argentina, Ramallo, Buenos Aires 2016 (Pengue 2016).

La pérdida de nutrientes, derivada de la extracción de cultivos como la soja, se incrementa año a año y según Casas y Cruzate, del INTA de Argentina, se advertía que la reposición de fertilizantes sintéticos en cultivos era y es deficitaria. Las cifras correspondientes al balance entre la extracción de nutrientes por los principales cultivos y los aportes por fertilización, continúan siendo deficitarias en los suelos agrícolas de la Argentina. En la campaña 2010/11 se extrajeron 3.93 millones de toneladas de N, P, K, S y Ca, siendo la reposición de 1.36 millones de toneladas, lo que representa apenas un 34.6% de reposición. La situación descrita indica la existencia de sistemas productivos que no son sostenibles, afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementando los procesos de degradación de los suelos y, por ende, limitando el crecimiento de la producción agrícola nacional (Casas y Cruzate, 2012).

Un factor menos discutido es la alteración sufrida por el carbono orgánico del suelo (MO). La pérdida de materia orgánica del suelo (MO) en la región pampeana no es percibida como un hecho alarmante o preocupante por el productor argentino dado que la soja, principal cultivo, registra un incremento anual de rendimiento a pesar de la incorporación de zonas marginales y de la disminución de su stock en el área núcleo.

El contenido de materia orgánica tampoco constituye un parámetro que determine el valor comercial ni el de arrendamiento de un predio. Ello se atribuye a innovaciones genéticas y a ajustes en las prácticas de manejo que contribuyeron a mantener la productividad. Sin embargo, desde hace años los investigadores de la ciencia del suelo presentan resultados de trabajos en los que se evidencia que el cambio en el contenido de MO bajo el actual sistema productivo tiene una magnitud significativa. La creación de conciencia del deterioro del suelo se ve dificultada en un escenario de aumento de rendimiento de los cultivos; sin embargo, en ese aumento crece un costo oculto productivo y social (Trossero et. al., 2012). La tecnología genera un efecto sombra sobre la degradación, la cual pasado el tiempo, se convierte en irreversible.

Los procesos erosivos, derivados de la intensificación de la agricultura, muestran que por ejemplo, según datos del INTA en la provincia de Entre Ríos, se pierden alrededor de U\$ 1.100 por hectárea. En esta línea, el Ing. Agr. Gvozdenovich analizó cuánto representa cada centímetro de suelo que se pierde por un mal manejo del lote para la campaña 2010/11. *“En Entre Ríos, perder un centímetro de suelo fértil por hectárea debido a la erosión hídrica, significa perder 120.000 kilos de suelo por hectárea al año. Si se extrapola este valor a toda la superficie cultivada, el número se multiplica considerablemente”*. Existe una relación real entre el suelo que se pierde y el rendimiento de los cultivos. *“Si lo pensamos en relación a un cultivo, como la soja, la producción se reduce 66,5 kilos de granos por hectárea por cada centímetro de suelo perdido. Esto representó en la campaña 2011/12 que cada productor cosechó 470 kilos menos de la oleaginosa, lo que se traduce a la fecha en \$1.098 menos por hectárea al año”*.

Las externalidades de la “nueva agricultura”

Hay muchas externalidades negativas (también llamadas costos externos o deseconomías externas) relacionadas con las consecuencias ambientales de producción y uso de los recursos naturales, tales como la sobreexplotación, la destrucción de hábitats, o la acumulación de contaminantes que afectan el ambiente y la sociedad.

Éstos son costos directos que el sector privado no reconoce pero que afectan la sociedad entera. Las externalidades tienen que incorporarse al costo privado de

las compañías, pero si se incorporan, el costo de producción estaría por encima de los ingresos de estas compañías. Por consiguiente, las externalidades no se están poniendo en práctica en el modelo de agricultura actual y los resultados de este fracaso son bien conocidos: la sobreexplotación de la naturaleza prístina, y la contaminación y degradación de los agroecosistemas del mundo.

Costo social = Costo privado + Externalidad

La Economía Ambiental (Pearce, 1976; Turner, Pearce y Bateman, 1993) es el estudio de las formas de incorporar externalidades a los gastos de las compañías; David Pearce y otros economistas han estado promoviendo esto durante décadas. Pero todo esto se ha hecho bajo la utilización de un método de análisis monocriterial, llamado análisis crematístico (donde prima solo el valor monetario).

La Economía Ecológica (Costanza, Cumberland, Daly, Goodland y Norgaard, 1997, Pengue, 2009, 2013) tiene esta condición en cuenta, pero amplía el enfoque de los diferentes modos de valoración, de manera que incluya no sólo consideraciones económicas sino también que tenga en cuenta otras cuestiones como el metabolismo social y los indicadores biofísicos (nutrientes, suelo virtual, agua virtual, apropiación primaria neta de biomasa o HANPP), las tendencias de consumo de energía, la degradación natural, y la contaminación.

Por lo general, el productor que crea la externalidad no incorpora los efectos de las externalidades en sus propios cálculos. Los productores están interesados en la maximización de sus propios beneficios. Ellos sólo tendrán en cuenta su propio costo privado y sus propios beneficios privados, haciendo caso omiso a los costos sociales.

Pero, desde el punto de vista de la economía ecológica, las externalidades no se consideran en términos del dinero o costos solamente.

Para entender el agotamiento ambiental, es más útil estudiar la situación de los indicadores biofísicos, el metabolismo natural y rural y sus tendencias.

La agricultura es el principal actor humano responsable del cambio de uso del suelo. Este cambio de uso de los suelos genera importantes impactos vinculados a la deforestación, los procesos de degradación y erosión de los suelos como así también la pérdida de biodiversidad, la cancelación o pérdidas de paisajes y problemas importantes vinculados a la contaminación ambiental.

No obstante ello, existen un conjunto de procesos importantes vinculados a los efectos de los cambios de usos de suelos y la intensificación que no están siendo adecuadamente identificados. Estos son los Recursos de base o Bienes Fondo como

los llaman algunos autores, porque son justamente la base estructural sobre las que se sustentan las oportunidades principales para la producción: Los suelos y el agua.

En especial, el caso de los suelos, y en particular, la situación de los nutrientes, no están siendo abordados en profundidad en países que como Argentina, son justamente dependientes de la calidad y cantidad de sus suelos agrícolas.

Sobreexplotación de los suelos: La Agricultura Minera

Muchas veces, concepciones equivocadas sobre la potencialidad de los suelos de Sud América llevaron a la sobreexplotación de los mismos y en otras tantas, aun conociendo sus limitaciones lograron imponerse allí modelos de alta renta que agotaron el recurso rápidamente.

La economía convencional ha argumentado que el suelo, visto como un "recurso renovable", bajo ciertas condiciones puede ser gestionado y por tanto explotado a perpetuidad.

En realidad, en las condiciones de explotación actuales el suelo es un recurso agotable. El recurso suelo fértil, tiene un carácter vital desde el punto de vista biológico y químico; también es un recurso relativamente escaso, y renovable solo a una escala inalcanzable para la especie humana, o sea es un recurso que en la práctica resulta no renovable. Existe entonces una sustancial diferencia en cómo la economía ecológica y la economía convencional consideran los problemas ecológicos distributivos (Martinez Alier: 1995).

En general, los sistemas de monoproducción agrícola conllevan a una extracción selectiva de nutrientes del suelo, que lo agotan y fuerzan a una reposición vía fertilizantes minerales. Estos fertilizantes actúan por un lado recuperando la fertilidad actual, pero al mismo tiempo arrastran a crecientes niveles de contaminación y eutrofización a la par de generar una mayor dependencia externa, al verse los países obligados a importar crecientes cantidades de fertilizantes minerales a valor dólar.

La mayoría de los fertilizantes y agroquímicos consumidos en América Latina son importados. Para esta región, el principal limitante para sus suelos reside en el estrés nutricional determinado por la escasez o exceso de nutrientes y por otra parte, generado por una extracción, que generalmente es selectiva y se lleva algunos o varios de los 16 nutrientes que se pueden ir con los granos.

Nuestra historia agroambiental, se ha visto acompañada por procesos productivos que en general degradaron la base de recursos, pero en otros casos, integraron de una forma más cercana a la sustentabilidad sistemas productivos que como en las grandes planicies del Sur, supieron combinar adecuadamente planteos

rotacionales y prácticas integradas de manejo que si no incrementaron, por lo menos sostuvieron la fertilidad y estructura del suelo.

En las últimas décadas, sin embargo, en el Sur de América (Las Pampas en Argentina, el oriente en Bolivia, los Cerrados en Brasil o los estados del este Paraguayo) se está produciendo un desplazamiento importante y pérdida del sistema de rotaciones de ganadería por agricultura, para focalizarse en cultivos de cereales y oleaginosas. El proceso ha llevado a un evidente síndrome de sustentabilidad, el de agriculturización que en el caso comentado, puede ya llamarse de sojización, con características propias a nivel global, nacional y regional.

SINDROME de SUSTENTABILIDAD
Síndrome de AGRICULTURIZACION/SOJIZACION
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Global (<i>Precios Internacionales, Pautas de Consumo Irracional, Especialización productiva, Nuevo orden mundial, Subsidios a la exportación de los países desarrollados, Materias primas transgénicas, Posición de los bloques económicos, Extracción de recursos naturales a bajo costo y valor</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Nacional (<i>Política Económica y Ambiental deficitaria, Inestabilidad Institucional, Corrupción y cooptación de voluntades, Falta de Políticas Estratégicas de Mediano Plazo, Sistema Científico Tecnológico enfocado en la productividad agroexportadora, Extranjerización de tierras</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Regional o Agroecosistémico (<i>Cambios en el Uso de la Tierra, Efectos de la Intensificación Tecnológica, Concentración Productiva, Monocultura, Inversiones de capitales foráneos al sistema, Disminución del empleo rural, Degradación ambiental</i>)

Fuente: Pengue: 2005; 136.

Este cambio en el modelo productivo produjo transformaciones en los agroecosistemas de la Región Pampeana, cuyas consecuencias fundamentales se traducen en los procesos de erosión y pérdida de fertilidad manifestados en las principales cuencas productivas de la región. Junto con la siembra directa, el consumo de fertilizantes ha sido uno de los factores representativos de la década de los noventa. Desde la implantación de la siembra directa, el consumo de urea y fosfato diamónico, son fertilizantes cuyo consumo aumentó de forma más significativa.

Bajo la Pampa Argentina, descansa un futuro desierto.

El caso de Argentina es singular, y aunque este país cuenta con una corta historia agroproductiva ambiental, los impactos ya se reflejan a lo largo del dilatado territorio. Al principio, fueron los ovinos, ingresados a la Patagonia por los colonos galeses e ingleses en el siglo XIX, que importaron una práctica y una tecnología inapropiada para esa ecorregión, y en menos de un siglo la convirtieron en desierto.

Luego, el proceso continuó con el Chaco, donde primero se eliminaron los quebrachos para utilizar los durmientes que constituirían la desigual red ferroviaria que serviría para exportar estos y otros productos desde la periferia a las metrópolis europeas, especialmente inglesas. Siguió el algodón hacia el este y la caña de azúcar hacia el oeste y todos los otros cultivos de base exportadora, continuando un ciclo de depredación de la naturaleza, subvaluación del recurso, exportaciones mal pagadas y tecnologías pobremente adaptadas a las realidades regionales.

La acción antrópica del colono, a principios del siglo XX comenzó a cambiar rápidamente el panorama rural argentino. El pasto fuerte era generalmente quemado para arar e implantar primero las tres cosechas permitidas por el terrateniente al colono, y luego la alfalfa y el trébol que por contrato debía sembrar en los campos del dueño. Estos forrajes, junto a las semillas del cereal perdidas en el rastrojo, daban origen a pasturas de productividad excepcional para la cría y el engorde del ganado, mientras el colono pasaba a otro campo con "pasto fuerte" para reiniciar su ciclo de agricultura trianual. El valor de la tierra, impedía en general, al colono acceder a ella. Estas fueron las primeras rotaciones agrícola-ganaderas que facilitaron el paso de pastos duros a "blandos", y que por otro lado expandieron la pampa hasta más allá de sus límites.

Esta corta historia sucedió sobre suelos vírgenes muy bien estructurados, con elevados contenidos de loessi materia orgánica. En esta primera etapa, las labranzas con herramientas inadecuadas, asociadas a sequías impactaban puntualmente pero no afectaban las condiciones productivas del suelo por la elevada recuperación del mismo (resiliencia) sumado al retorno de las condiciones climáticas. A pesar de todo, ello permitía mantener un ámbito original con muy escasa disminución de su capacidad productiva.

Recientemente un nuevo ciclo húmedo, expandió la agricultura y desplazó directamente a la ganadería hacia las zonas más marginales de Las Pampas, alterando el ciclo de extracción/reposición a través de la agricultura/ganadería que duró casi cien años. Este proceso se sostiene hoy sobre una creciente sobrecarga de insumos externos, sin reposición natural.

Ahora se exporta el modelo "cultural y económico productivo" pampeano, hacia otras ecorregiones que "no son pampa", en un proceso que hemos dado en

llamar “pampeanización” (Pengue 2005). Las tierras transformadas en el Chaco, permiten procesos de ganaderización y agriculturización más intensa, alterando el abolengo biológico y ecológico para degradarlo a un nivel biológico de menor cuantía y lamentablemente de manera insustentable.

SINDROME de INSUSTENTABILIDAD
PAMPEANIZACIÓN. UN NUEVO SINDROME DE INSUSTENTABILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Global: <i>Precio de la tierra. Concentración de las cadenas de comercialización y aldea global. Eficiencia productiva y traslado de costos Norte Sur.</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Nacional: <i>Falta de Política Agropecuaria y Ambiental. Desconocimiento y Falta de Evaluación de Impactos. Escaso ordenamiento del territorio. Escaso trabajo interprovincial para el desarrollo regional. Desnaturalización del concepto de Economía Regional. Desconocimiento (ignorancia) en el conocimiento y manejo bajo mirada ecorregional. Corrupción. Falta de conocimiento y movilidad social y política en los estratos nacional, provincial y municipal.</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Regional o Agroecosistémico: <i>Dominio conceptual del modelo tecnológico. Devaluación de la agricultura regional o local. Falta de incentivos a nivel de finca para el trabajo de mediano plazo. Nuevo actor rural “moderno” y desaliento al productor y al agricultor local.</i>

Fuente: Modificado de Pengue 2004 y 2005, 150

Capítulo 5

El vaciamiento de la Caja de Ahorros Natural

“Nuestra vida presente es el crisol del cual saldrá nuestra vida futura”.

Herni Dominique Lacordaire

El flujo de materiales

Las exportaciones de nutrientes generados por el modelo sojero, no pueden esconder a los ojos de la economía ambiental, una salida creciente en términos de nutrientes, que pone en duda la supuesta eficiencia de la agricultura exportadora. En la Región Pampeana, la externalidad generada por la extracción de nutrientes se ha evaluado por varios autores, pero en relación con la exportación de nutrientes, y sólo de aquellos de mayor demanda por los cultivos en términos de volumen requerido o que limitaban los rendimientos al ya no disponerse de ellos en el suelo.

Estos son nitrógeno, fósforo y potasio. En este sentido, las dosis minerales aportadas en promedio por hectárea durante la última década, no estuvieron asociadas a las tasas de extracción de los principales cultivos (trigo, maíz y soja).

En términos de volumen extraído con el cultivo soja, desde los comienzos de la agriculturización en la década de los setenta (1970/71) hasta el año 2015, Argentina ha perdido 25.545.550 millones de toneladas de Nitrógeno (ya descontada la reposición natural), 5.722.551 millones de toneladas de Fósforo y valores muy elevados de los demás nutrientes y oligoelementos, a pesar -como se ha comentado- de su buena disponibilidad en un suelo, que no obstante se va vaciando. El volumen extraído alcanza un total de casi 57.000.000 de toneladas entre los principales trece nutrientes considerados.

A valores en dólares, y solamente tomando como referencia una equivalencia con la restitución de lo perdido con fertilizantes minerales (que asumimos es una simplificación de la realidad del balance de nutrientes), los costos significan cifras de una deuda sumamente elevadas. Argentina debería ser resarcida con más de US\$ 6.000.000.000, 5.000.000.000, 1.100.000.000, 600.000.000, 96.000.000 y 88.000.000 respectivamente, para el nitrógeno, potasio, fósforo, azufre, calcio y magnesio exportados.

En el caso de la producción sojera pampeana, la extracción de nutrientes ha sido especialmente importante, por ser esta una de las áreas de mayor producción de la oleaginosa.

Las provincias pampeanas (Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba) alcanzaron en conjunto una extracción total de elementos mayores (N, P, K, Ca, Mg, S) de 20.305.794 toneladas y 244.449.822 kilogramos de micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), siempre tratando exclusivamente la extracción de la soja.

La extracción por hectárea, durante todo el periodo ha sido también muy alta llegando a los 158 kilogramos para los nutrientes principales (N, P, K, Ca, Mg, S).

La degradación del suelo, en el caso que nos ocupa de la extracción de nutrientes, siempre fue vista por una parte de los colegas agrónomos argentinos y algunos institutos de investigación agrícola como "*un problema de balance*", donde para resolver la cuestión, era necesario solamente incrementar la reposición, vía fertilizantes minerales. Ello no es del todo acertado, al no considerar en este proceso los costos ecológicos devenidos de las externalidades producidas en este proceso de intensificación agrícola creciente (contaminación química, degradación física, eutrofización, incremento del riesgo ambiental) y los costos a la salud (aumento de las enfermedades producidas por contaminación generada por los agroquímicos tanto en trabajadores como en la población rural y periurbana).

Pero por otro lado, es la intensificación de la agricultura sojera, vinculada a las exportaciones y la dependencia de los recursos obtenidos de las retenciones (impuesto del gobierno a la exportación de granos), lo que ha permitido al gobierno mediante este proceso de producción contar con divisas para el pago de deuda y mantener un sistema de planes sociales, que hoy ya se debía haber superado con propuestas productivas y de trabajo, utilizando los mismos recursos de estos impuestos.

A medida que se avanzó en el proceso de agriculturización, considerando los tres cultivos, trigo, soja y maíz, las pérdidas de nutrientes y el costo de reposición de los mismos por restitución mineral han ido en aumento. Esto se produce por dos motivos: por un lado el aumento de la superficie ocupada por los principales cultivos y por el otro, por la demanda de cada vez más nutrientes, al utilizarse, especialmente en este período, nueva genética que incrementa los rendimientos pero demanda una tasa extractiva mucho mayor (en el campo se dice "*hay que darles de comer, para que rindan...*").

Incluso, el aporte de fertilizantes minerales, se rige por la relación costo/beneficio por unidad producida, pero no en términos de la necesaria reposición natural, cuyo "capital" se degrada de manera casi constante.

La incorporación del cálculo del costo de los nutrientes naturales exportados, el suelo virtual exportado, junto con el agua virtual utilizada debería formar parte de instancias de análisis, especialmente cuando se trata de una degradación que, además de los costos ecológicos generados, para ser recuperada por los mismos canales de la intensificación productiva, sólo se lograría a través de nutrientes minerales, que tienen un importante costo en el mercado internacional,

En el caso de los macronutrientes, la cifra que se debería haber restituido al ambiente para reponerlos equivale a alrededor del 25 % del valor de la cosecha anual del cultivo, con cálculos generales y promedio de nitrógeno, fósforo y potasio. También es importante tener en cuenta que a pesar de lo demostrado respecto a la buena disponibilidad general de micronutrientes en Las Pampas, su extracción es creciente y estos son factores clave por ser en el futuro su posible deficiencia, limitantes para la productividad de las plantas. Su salida recurrente, obligará en algún momento a la utilización de fertilizantes minerales, que en estos casos, son mezclas especiales, cuyos costos son proporcionalmente más altos que los de los macronutrientes.

Flujo de materiales y diferentes procesos

Los flujos de nutrientes que ocurren en un agrosistema consisten en ingresos dados por lluvias, fertilización, meteorización de los materiales y el tipo de manejo que se dé en él mientras que los egresos están determinados por lixiviación, erosión, la cosecha y la exportación por cultivo.

En esta investigación, se realiza un balance simplificado considerando como ingresos al sistema la fertilización, y en el caso de la soja, la fijación biológica. Los egresos corresponden a la exportación por tonelada de cultivo siendo los flujos considerados los que mayor impacto tienen sobre el recurso suelo. La determinación de la extracción de nutrientes, se realizó en base a valores promedios para cultivos, carne y leche obtenidos a partir de una revisión bibliográfica para los macroelementos N, P, K, S y el B como micronutriente B (Ciampitti, I y García, R (2007, 2008); Álvarez, R (2000); Ventimiglia, L; Carta, H y Rillo, S (200); Cruzate, G y Casas, R (2003, 2009,2012); Manchado, J (2010) y Flores, C y Sarandón, S (2003)).

En un análisis de flujo de caja cerrada, el Balance Total Simplificado, analiza en primera instancia el flujo de ingresos (fertilizantes, fijación y aportes) y salidas, especialmente los nutrientes extraídos en los cultivos.

Balance simplificado

$$BTN = \sum Fert_{iz} + FBN - \sum Cextr_{ij} * P_{jk}$$

Coefficientes de extracción de nutrientes en Cultivos (Valores promedios – según las fuentes)

Cultivos	Extracción en grano (kg/ton)				
	N	P	K	S	B
TRIGO	19,60	3,74	3,64	1,51	0,0057
MAIZ	14,01	2,89	3,75	1,36	0,0051
SORGO	19,46	3,63	3,84	2,03	0,0023
SOJA	52,70	5,89	18,28	3,41	0,0073

Fuente: Ciampitti, I y García, R (2007, 2008); Álvarez, R (2000); Ventimiglia, L; Carta, H y Rillo, S (200); Cruzate, G y Casas, R (2003, 2009,2012); Manchado, J (2010) y Flores, C y Sarandón, S (2003).

Coefficientes de extracción de nutrientes en Carne y Leche

Producto	Extracción en producto			
	N	P	K	S
Leche (kg/litro)	0,0050	0,0097	0,0154	0,0000
Carne (kg/ton)	24,5000	7,2000	1,7000	1,5000

Fuente: Alvarez, R (2000) y Manchado, J (2010)

La extracción se determina a partir del producto entre los coeficientes de extracción de cada cultivo con la producción de cada uno de ellos expresada en toneladas del mismo.

$$\text{Extracción Total} = \sum Cextr_{ij} * P_{jk}$$

Donde

Cextr = coeficiente de extracción (kg/ton) o (kg/lts en el caso de la leche)

P = producción (ton o lts en el caso de la leche)

i = nutrientes (N, P, K, S, B)

j = cultivos o productos (en este caso soja, trigo, maíz, sorgo y leche)

k = distritos del departamento

$$\text{ReposiciónTotal} = \sum \text{Fert}_{iz} + \text{FBN}$$

Donde

Fert = fertilizante

i = nutrientes

z =cultivo (soja, trigo, maíz, sorgo)

FBN = valor corregido del aporte de nitrógeno al considerar la fijación biológica para las leguminosas, según el manejo del sistema.

Balance Total Nutrientes (BTN) = Reposición total – Extracción total

$$\text{BTN} = \sum \text{Fert}_{iz} + \text{FBN} - \sum \text{Cextr}_{ij} * P_{jk}$$

El suelo virtual

El suelo virtual (Pengue, 2009) es la cantidad de nutrientes (extraídos del suelo para la composición de las estructuras funcionales de la planta y granos), contenidos en los granos exportados y medido en gramos, kilogramos o toneladas del nutriente evaluado, según sean estos micro, oligo u macroelementos.

Nutrientes y agricultura minera

El área sembrada con soja en la Argentina muestra una expansión marcada desde 1987 que no se ha detenido hasta ahora, salvo en la campaña 2008/2009, derivada de una crisis no productiva sino política con el campo. Este incremento en el área sembrada es el que explica el aumento en la producción desde 9.9 millones de toneladas en 1987 a las más de 44.000.000 de toneladas en la actualidad, ya que los rindes promedio se mantuvieron estables, es decir, no hubo un importante incremento en la productividad de la soja.

Si bien las técnicas de cultivo cambiaron a lo largo del período (nuevas variedades, fechas de siembra, sistemas de labranza y manejo, control de malezas y enfermedades, barbecho químico, siembra directa), es posible adelantar que en la cuestión de fertilizantes minerales, el consumo en el cultivo de soja ha sido muy escaso hasta ahora, lo que implica que existió como veremos una exportación neta de diferentes nutrientes.

La pérdida de nutrientes del suelo, sin embargo, no se debe sólo a la extracción que hacen las cosechas. También influye el manejo que se haga del suelo, y los procesos erosivos, al igual que la lixiviación, tienen un papel importante dentro de este flujo de materiales.

Haciendo especial hincapié sobre la situación de los nutrientes, es posible entonces encontrar fuentes de pérdida y de ganancia, donde además tendrá importancia el sistema de manejo que se aplica.

Las fuentes de ganancia que se pueden considerar son:

- Abonos orgánicos y efluentes animales
- Deposición atmosférica
- Sedimentación
- Rastrojos de cosecha (cuando se dejan, caso de la siembra directa)
- Fertilizantes de síntesis

Las fuentes de pérdida en los sistemas agrícolas son

- Productos cosechados
- Remoción de los rastrojos de cosecha
- Lavado de nutrientes
- Pérdidas gaseosas
- Erosión

Esta es una situación especialmente importante durante los últimos años, donde además del avance hacia la agriculturización se ha producido una fuerte concentración en la plantación recurrente de soja. Además de ser altamente extractiva de nutrientes, ello produce un efecto que, incluso a pesar de la siembra directa, genera un proceso erosivo que arrastra también una proporción creciente de nutrientes.

Es importante considerar que la situación de manejo local o regional en el caso del balance completo de los nutrientes es sumamente compleja, pero no obstante, las tendencias de extracción pueden ser demostrables. Calcular el balance simplificado cuyos términos sean parámetros como cosecha, extracción, valor de la reposición, puede constituir una herramienta indicadora del grado de alejamiento o acercamiento a la sostenibilidad del recurso suelo y su productividad. Especialmente es necesario este indicador en aquellos territorios donde se contaba con una base de nutrientes muy importante, como en general se ha visto en las etapas originales de la pampa.

Para el cálculo de la exportación de nutrientes por las cosechas, es necesario considerar la concentración de los mismos en los granos y el nivel de producción alcanzado por período. Existe una considerable diferencia de exportación de nutrientes básicos por unidad de peso de grano, originada por los diferentes cultivos de difusión en la región pampeana. El cultivo de soja duplica aproximadamente la concentración de estos elementos en comparación con el trigo, el maíz o el girasol.

La alta extracción de nutrientes, las reducidas prácticas de manejo y su concentración en pocos cultivos sin ganadería, unido a la muy escasa reposición han

resultado en la degradación de los suelos, especialmente de aquellos con mayor frecuencia de soja en la rotación, es decir, aquellos suelos que han seguido un modelo de agricultura continua durante muchos años.

Por otro lado, es importante considerar que a diferencia de otros cultivos, a pesar de la adversa situación la soja "produce" incluso en suelos ya degradados o con bajo contenido general de nutrientes.

Es necesario considerar que al contrario de otras regiones del mundo con una historia agrícola antiquísima (China, Europa) donde se ha producido por centurias una extracción importante de nutrientes, con mejor o peor manejo según las circunstancias, conocimiento y tecnología, los suelos de la República Argentina, luego de poco más que una centuria, son aún prístinos en cuanto a su riqueza nutricional. Antes no teníamos una historia agroambiental del mundo y de las regiones con la que contamos hoy más que ayer. Eso nos obliga a pensar si extraer nutrientes sin buen manejo rotacional, es bueno para la estabilidad ambiental y económica de Las Pampas en el mediano plazo.

Es de hecho un error, pretender revisar y comparar para su manejo (por fertilizantes minerales) la situación de territorios y suelos que ya gastaron sus recursos respecto de aquellos que aún no lo han hecho y que como en Argentina, deberían ser entonces manejados bajo otro prisma.

En el caso de la soja, también se debe considerar especialmente, la rápida acumulación de los nutrientes principales (N, P y K) desde las etapas tempranas del crecimiento del cultivo. Esto es una evidencia de la veloz demanda nutricional del cultivo desde el comienzo del ciclo, lo que se relaciona con el rendimiento posterior en grano. La alta relación entre la acumulación de nutrientes en planta entera y el rendimiento en grano evidencia la dependencia del mismo respecto de los macronutrientes principales. La proporción de estos en grano a la madurez del cultivo evidencia la importante exportación que se realiza de los mismos, esto es la traslocación de nutrientes plantas/grano, que es muy alta en el caso del cultivo de soja, con porcentajes que rondan el 68, 62 y 50 % para el N, P y K respectivamente.

Nuevamente, el cultivo de soja, a diferencia de los otros cultivos (maíz, trigo, girasol) producidos en Las Pampas y sus extra/regiones presenta:

- Un menor aporte de biomasa o reposición de materia seca al suelo. Menos carbono.
- Una intensa extracción de nutrientes y posterior traslocación al grano.
- Una exportación neta de granos de soja (casi un 98 por ciento) que salen en forma completa del agroecosistema, al exportarse al exterior en su totalidad, a diferencia de los otros cultivos.

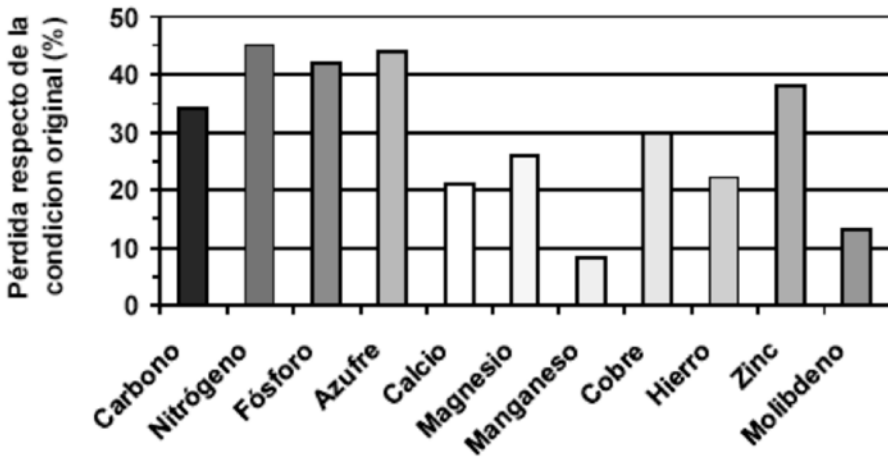
Entonces, un productor agrícola luego de realizar un cultivo, tiene su suelo más pobre que al inicio de la campaña. Tomando solo el nitrógeno, el fósforo y el azufre se puede concluir que la soja de primera tiene valores más extractivos, le sigue la secuencia trigo soja de segunda y en tercer lugar el maíz. Se apela a la caja de ahorros del suelo.

Por ejemplo, en suelos franco arenosos de la región pampeana, considerando el sistema productivo real, se puede pronosticar un agotamiento total de nuestros suelos en unos 50 años, aun considerando el aporte de fertilizantes.

Hasta el momento, a pesar de ser pareja la extracción de nutrientes, la gran disponibilidad en el suelo de algunos de los nutrientes enmascara un posible déficit.

A diferencia de lo que ya se percibe con el nitrógeno, el fósforo, el azufre, la aún importante disponibilidad de nutrientes como el K, el Ca, Mg o S, no se revisa muchas veces con la misma intensidad, a pesar de ser elementos que de manera recurrente también salen junto a las cosechas.

Pérdidas de nutrientes respecto a su condición original en un suelo Argiudol típico Serie Pergamino, después de 80 años de agricultura continua.



Fuente: Andriulo et al.:1996.

La alta producción de soja esconde la elevada salida de los nutrientes del suelo que salen del país, al exportarse casi el 90 por ciento de la soja producida y transformada en tortas y aceites hacia los mercados de ultramar.

Es de destacar que el cultivo de soja, en comparación con otros como el trigo o el maíz, es uno de los que menor relación extracción/reposición tiene de elementos básicos, como el fósforo a lo largo de las últimas décadas. Mientras en el trigo la

relación reposición/extracción alcanzaba en los últimos periodos los 0,89 o en el maíz, en el cultivo de soja, alcanzaba para el período 1993-1997, un 0,09, en 1998-2002, 0,13, en 2003-2007, 0,28 y en 2008-2012, los 0,39, indicando que a pesar de la expansión del cultivo y su extracción, el cultivo sigue “dando” con una reposición algo alejada de los estándares agronómicos indicados.

De allí la importancia de la consideración del suelo virtual en las exportaciones de grano, particularmente de soja, un cultivo directamente vinculado al comercio internacional y cuyo consumo en lugares tan alejados de las áreas de producción impide el funcionamiento adecuado de los ciclos de los nutrientes.

Otro aspecto importante tiene relación con el rendimiento por hectárea de cada cultivo o el rinde en kilogramos de la producción de carne. Cuando este es mayor, mayor también será la extracción de cada nutriente. En la producción de granos de cereales y oleaginosas según el rinde por hectárea considerado será el nivel de extracción de nutrientes. En este caso en el cuadro se puede observar cuáles serían los valores de los minerales extraídos por cada grano en el rinde simulado para una hectárea en el centro de la Región Pampeana. Así en sistemas de alta producción, para una soja que rinde entre 30 a 40 quintales por hectárea son necesarios por hectárea y por año aproximadamente 240 kg de minerales totales, mientras que para el maíz (9-10 t/ha) se requieren alrededor de 250 kg y en el caso del trigo, unos 110 kg. Con una producción de 1.000 kilogramos de carne por hectárea por año, en el mismo cuadro se puede apreciar que en total serían extraídos alrededor de 27 kg de minerales por hectárea cada año (Correa Luna, M 2013).

Extracción de los principales nutrientes por hectárea para la producción de los principales cultivos y carne en la Región Pampeana Argentina.

Simulación Rend. (t/ha)	kg Extr./ha Rend. Sim.	P	K	Ca	Mg	S	N
3,8	Soja	22,80	72,20	15,20	15,20	11,40	104,50
3,0	Trigo	12,00	12,00	1,20	9,00	6,00	63,00
10,0	Maíz	30,00	40,00	2,00	20,00	10,00	150,00
1,0	Carne	7,73	2,00	15,64	0,52	1,43	0,00

Fuente: Correa Luna, 2013.

Si la comparamos con otros cultivos como el maíz, el trigo, el girasol o la alfalfa, **la soja, es uno de los cultivos que más nutrientes extrae del suelo por unidad de materia seca producida.** Estos los obtiene de dos formas: por una eficiente extracción selectiva del suelo y producción propia (caso del nitrógeno), o por un agregado continuo externo vía fertilizantes minerales.

En el caso de la soja son 18 los elementos que se consideran esenciales.

La soja, provee un rastrojo rico en nitrógeno (baja relación carbono nitrógeno) que se descompone rápidamente, dejando al suelo con muy poca cobertura y expuesto a la acción erosiva.

Es decir que incluso, con siembra directa, cultivar soja sobre soja, como se viene haciendo en la Argentina en la última década, es una práctica insustentable. Aparece allí una doble vía de reducción del stock de materia orgánica del suelo.

Por un lado, la tasa de adición de rastrojos no alcanza a compensar la tasa de mineralización y por otro, la erosión se lleva aproximadamente un 0,1 por ciento de materia orgánica por cada centímetro de suelo perdido, de acuerdo a mediciones realizadas por el Instituto de Suelos del INTA en la Subregión Pampa Ondulada.

El efecto de la agricultura continua, especialmente sojera, no solo muestra el desbalance que se produce en el sistema por este desplazamiento en términos de nutrientes perdidos, nitrógeno y fósforo, sino que se produce un incremento sustantivo en los consumos de energía fósil, contaminación con pesticidas, disminución del carbono intercambiable, aumento de los riesgos de erosión e intervención del hábitat.

Las tasas de extracción de nutrientes son crecientes y para mantener la sostenibilidad de los sistemas, otro aspecto opuesto a esta salida, refiere a la entrada de materiales nuevamente al sistema. Suponiendo que en este modelo de agricultura y ganadería industrial se pretendieran reponer los nutrientes extraídos, que incluso responden a una teorización de los aportes necesarios, ni siquiera con la reposición química de fertilizantes se podría lograr una estabilidad adecuada del sistema.

Kilogramos de Fertilizantes por hectárea necesarios para lograr la reposición de los nutrientes extraídos en los cultivos y carne en la Región Pampeana Argentina.

Simulación Rend. (t/ha)	kg fertz/ha Rend. Sim.	para P: P ₂ O ₅ 2(NH ₄)	para K: SO ₄ K ₂	para Ca: SO ₄ Ca	Para Mg: SO ₄ Mg	para S: SPS	para N: Urea
3,8	Soja	113,68	120,33	66,09	152,00	249,02	56,79
3,0	Trigo	59,83	20,00	5,22	90,00	131,06	136,96
10,0	Maíz	149,58	66,67	8,70	200,00	327,65	326,09
1,0	Carne	38,55	3,33	68,02	5,23	84,43	0,00

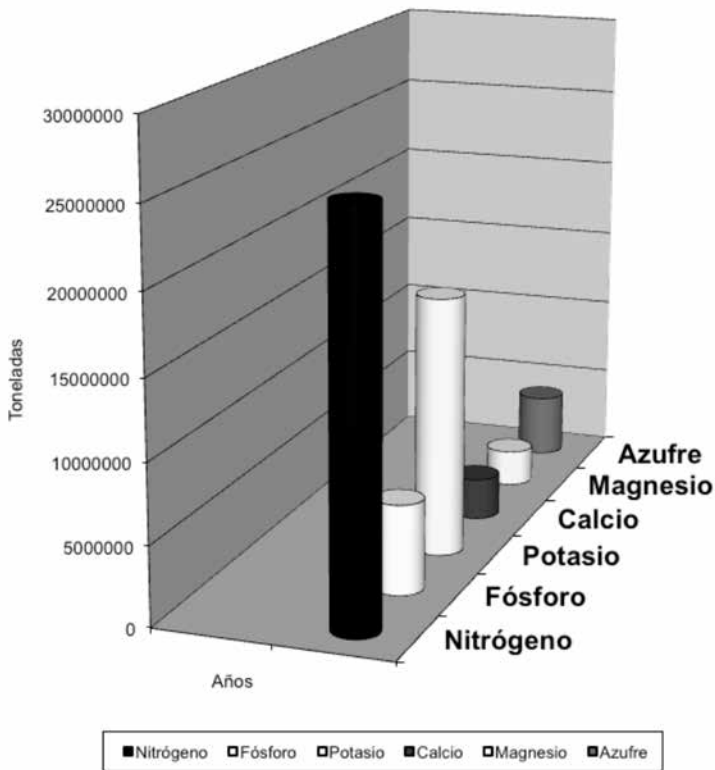
Fuente: Correa Luna, 2013.

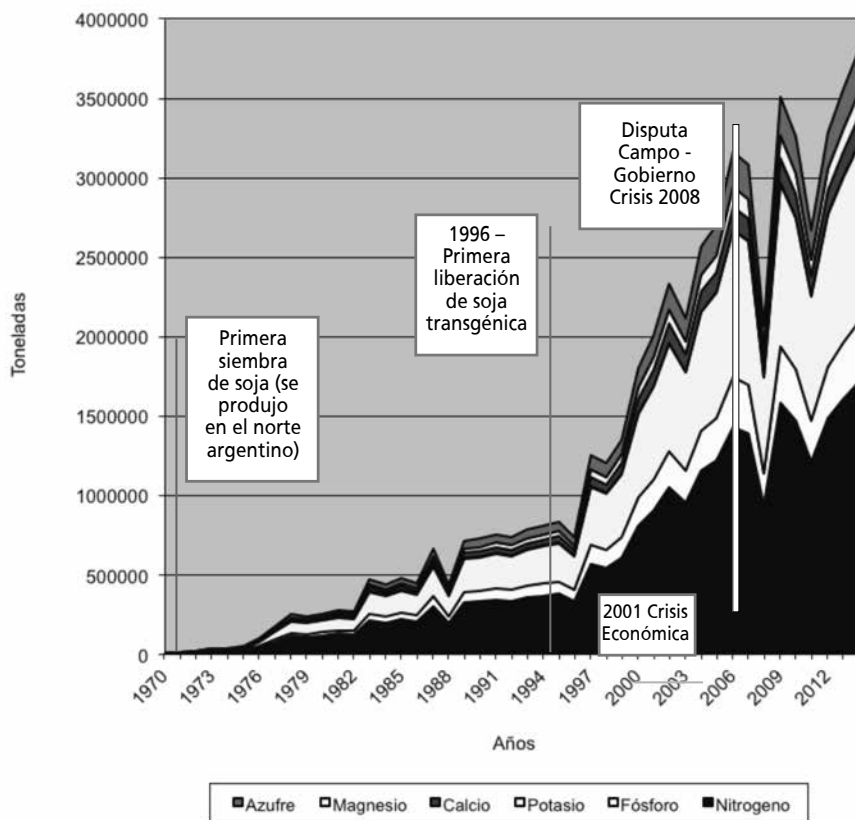
La salida de nutrientes junto con la soja argentina, muestra un fuerte punto de inflexión desde mediados de la década de los años noventa (Pengue, 2006).

No es una cuestión menor que en el año 1996 se libera comercialmente la soja transgénica en el país, adoptada masivamente por los agricultores en muy escaso tiempo.

El fuerte pico de extracción de nutrientes, comienza a mostrarse allí acompañando el desplazamiento hacia la monocultura de soja, un cultivo que extrae como he resaltado, una gran cantidad de nutrientes a través de su grano.

Exportaciones totales de los principales macronutrientes en el cultivo de soja para el periodo 1970/71 al 2013/2014





Durante siglos algunos de los países hoy industrializados tuvieron el privilegio de extraer, primero de su propia naturaleza y luego del resto del globo, los productos exigidos por el crecimiento de su población y de su producción, y por el aumento de sus niveles de vida.

“Pudieron apropiarse así de las tierras más aptas del mundo para los productos que requerían o inducir su cultivo... El agotamiento de los recursos no renovables de más alta ley y mejor localización y el deterioro de los renovables que acompañaban este proceso, no constituyen para ellos un problema en la medida en que el avance tecnológico y la penetración en nuevos territorios y países ponía siempre a su disposición nuevas fuentes de recursos” (Sunke, 1980). Keynes destaca cómo parte del crecimiento europeo se hizo a expensas de recursos baratos provenientes de otros territorios: “Del excedente de bienes de capital acumulados por Europa, una parte sustancial era exportada a ultramar, donde la inversión de dicho excedente hizo posible el desarrollo de nuevos recursos en materia de alimentos, materiales y medios de transporte y al mismo tiempo capacitó al viejo mundo para reclamar una participación en la riqueza natural y otras riquezas potenciales que se encontraban en el Nuevo Mundo. Este último factor resultó tener una enorme importancia.

El Viejo Mundo empleó en forma prudente el tributo anual que tenía derecho a recibir... La gran parte del dinero recibido como intereses que se fueron acumulando por concepto de estas inversiones en el extranjero fue reinvertida y nuevamente se fue acumulando...La prosperidad de Europa está basada en el hecho de que, debido a la enorme cantidad disponible de alimentos que ofrecía América, Europa pudo comprarlos a bajos precios en comparación con el trabajo requerido en sus bienes de exportación y, gracias a ello, como resultado de las inversiones previas de capital, tenía derecho a una considerable cantidad anual sin pago alguno de retorno" (Keynes, 1920).

Dice nuevamente Osvaldo Sunkel, sobre este proceso de deterioro y de exportaciones de bienes subvaluados: *"En épocas anteriores, la ocupación del espacio y las nuevas formas y sistemas de explotación iniciaron procesos deteriorantes, pero la diferencia estriba en la magnitud con que se presenta el fenómeno en los últimos decenios, las nuevas tecnológicas empleadas y las superficies cubiertas"*.

Los procesos más característicos son: la deforestación, el "uso desequilibrado del suelo y la "artificialización" excesiva de los ecosistemas" (Sunkel, op.cit.). Este uso desproporcionado de los recursos del suelo, genera un desbalance que la agricultura industrial contempla solo a través de la reposición externa, pero que ha sido un alerta permanente respecto a consecuencias que van más allá de ello, pues involucran una alteración de las relaciones dentro del suelo como recurso vivo, pocas veces contemplado por esta agricultura.

Raúl Prebisch, mentor de la teoría sobre el deterioro en los términos de intercambio, nos recuerda que: *"Además, los productos agrícolas merecen un comentario aparte. La exportación de ciertos productos agrícolas contiene la parte de riqueza natural que se pierde con el cultivo depredatorio, y sin que esto figure en el costo de producción. Y de esta manera se pagan importaciones destinadas en parte a la sociedad privilegiada de consumo. Es cierto que tarde o temprano se impondrá la necesidad de recuperar la fertilidad perdida con el empleo de aquellos abonos petroquímicos cuyos precios aumentaron y otras medidas. Y aquí encontramos un problema adicional debido a la mencionada debilidad periférica para trasladar internacionalmente sus mayores costos de producción"* (Prebisch, 1980).

En las últimas tres décadas, y especialmente en la actual, sigue sucediendo lo mismo e incluso magnificado. Las políticas de ajuste estructural han redefinido el rol de región, destruido su perfil productivo y de desarrollo interno y fortalecido la salida de commodities. Los pasivos ambientales son crecientes e identificados, incluso muchos claramente mensurables y otros tienen costos más ocultos como la extracción de nutrientes de manera selectiva con los principales cultivos de exportación como la soja, "que vive" para el crecimiento de la agroindustria ganadera europea, o la ganadería y piscicultura china.

Podemos preguntarnos cómo hubieran avanzado los sistemas económicos que se instalaron en los últimos dos siglos si desde sus inicios, se hubiese analizado en términos no monetarios la demanda por recursos y su explotación y si se hubiera considerado en términos energéticos, los flujos y calidades de esta. No obstante, si bien estas cuestiones no existían en el corpus estructural relevante de los formadores de la teoría económica, sí algunos autores hacen alusión a cuestiones energéticas y ciclos de los materiales y rescatan de la historia, ciertos pasajes muy interesantes. Nos dice Joan Martínez Alier (2003):

“Marx y Engels nunca dijeron en sus críticas al concepto de rendimientos decrecientes en la agricultura que la productividad del trabajo y la tierra dependiera del subsidio exterior de energía...Sin embargo, tenían un interés profundo por las relaciones entre la economía humana y el medio natural, en especial en lo que respecta a la agricultura. Schmidt (1978) hizo notar que el uso de *Stoffwechsel* por Marx y, en distintos pasajes de *El Capital* y otros escritos estaba influenciado por Moleschott y Liebig. Y que no era una metáfora, sino que se refería al análisis de los ciclos de nutrientes en las plantas agrícolas” (Schmidt, 1978, Martínez Alier y Schlupmann, 1987(1991), Martínez Alier, 2003).

Liebig (1803-1873) y Boussingault (1802-1887) pueden considerarse los padres fundadores de la química agrícola, habiendo publicado sus investigaciones sobre el ciclo del carbono y los nutrientes de las plantas (fósforo, potasio, nitrógeno) en el contexto de la discusión sobre los rendimientos decrecientes en la agricultura y del inicio de la gran importación de guano del Perú a partir de 1840.

Justus von Liebig, quien estudió con Thenard, Gay Lussac y Vauquelin realizó una carrera meteórica y sentó las bases para el estudio de la química agrícola moderna. Sus dos principales obras, *Organic Chemistry and its application to agriculture* (1840) y *Organic Chemistry in its application to physiology and pathology* (1842) revolucionaron las hipótesis sobre la producción de alimentos (Scharrer, 1949, Sachtleben, 1958, Twigg, 1973).

Quizás Liebig fuera de alguna manera influenciado por las experiencias de Jan Baptiste van Helmont, un “buen ejemplo” del espíritu experimental y científico anterior del siglo XVI.

Van Helmont pesó cierta cantidad de suelo y un joven arbolito, al que también pesó y luego lo plantó en él. Durante cinco años sostuvo la experiencia y regó la planta. Separó cuidadosamente el árbol del suelo y determinó que pesaba 164 libras y luego pesó el suelo nuevamente, detectando que solo había disminuido 2 onzas, hecho que no consideró de relevancia.

Su conclusión fue que “*por tanto 164 libras de madera, corteza, hojas y raíces se producen por transformación del agua solamente*”. Por cierto, la conclusión

es falsa, pues el aumento de peso del árbol incluye los granos de suelo faltantes que son el nitrógeno, fósforo y demás elementos y se debió primordialmente a la fijación de CO₂ del aire por fotosíntesis, pero el abordaje y el análisis fueron más que pertinentes para comprensiones que vendrían posteriormente.

Luego, en el siglo pasado ya se sabía que las plantas toman elementos químicos del suelo y CO₂ del aire. Boussingault demostró que aunque el aire contiene mucho nitrógeno, la planta no puede utilizarlo y lo toma del suelo.

Jean Baptiste Boussingault quien viajó a América Latina en las guerras de nuestra independencia y sirvió a las órdenes de Simón Bolívar, puede ser considerado el fundador de la química agrícola en su aspecto experimental.

Pudo demostrar que las legumbres (habas, la soja) obtienen su nitrógeno del "aire", pero no pudo determinar lo que se supo 50 años después: la función de las bacterias en estas familias de plantas (Asimov, 1973).

Su contemporáneo, **Liebig, estableció la Ley del Mínimo**, según la cual el desarrollo de la planta depende del nutriente que se encuentra en la cantidad mínima en el suelo en relación con lo que la planta exige. De hecho mantuvo correctamente que el factor principal de la pérdida de fertilidad del suelo era que las plantas consumían el contenido mineral de este, es decir, agotan los compuestos que contenían elementos esenciales.

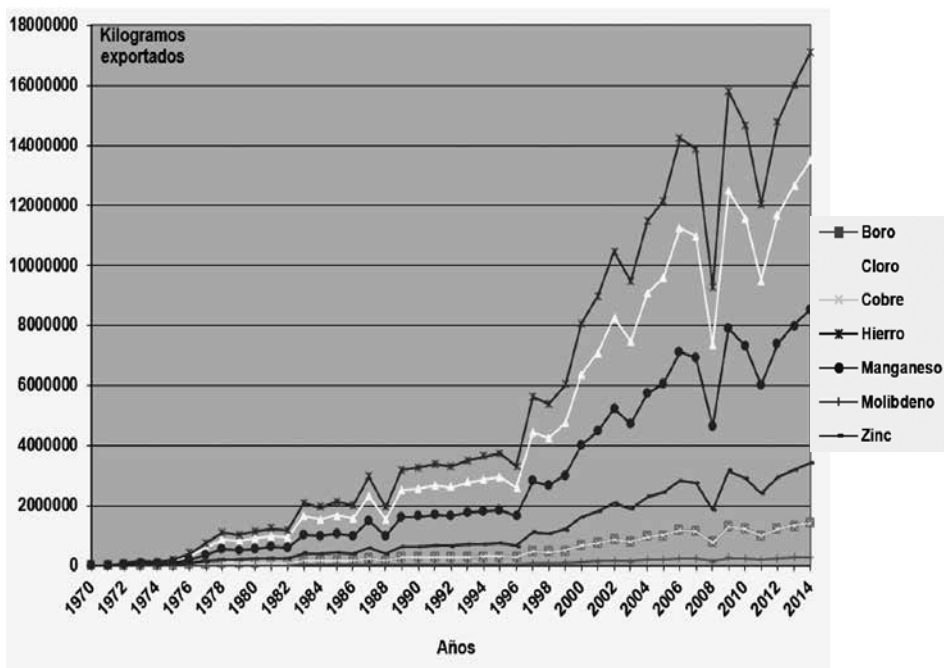
Fue el primero en hacer experiencias con la fertilidad del suelo, añadiéndole abonos químicos, en lugar de productos naturales, como el estiércol. Al principio era de la opinión de que las plantas obtenían generalmente el nitrógeno que necesitaban de la atmósfera, como Boussingault interpretaba con los guisantes.

Por ello, no agregaba en sus primeras experiencias compuestos de nitrógeno a sus abonos químicos y por tanto no avanzaba en sus resultados iniciales. Luego rectificó la experiencia y los resultados fueron comprobados plenamente. Asumía que era importante de alguna manera en la agricultura, el reciclado local, pues de otra manera "los nutrientes se iban".

John Bennet Lawes (1814-1900) fue de los primeros en comenzar a experimentar en términos prácticos con "abonos artificiales". En 1842, patentó un método para elaborar superfosfato y al año siguiente construyó una fábrica para producirlo, **dando origen al nacimiento de la industria de fertilizantes.**

Posteriormente, la Ley del Mínimo de Liebig, se amplió a todos los factores que gobiernan la vida de la planta, al establecer Blackman que el desarrollo del vegetal está limitado por aquel factor que se encuentra al mínimo (nutrientes, agua, temperatura). Bartholomeu (1958) aborda la misma Ley para referirse a cualquier especie y su relación con el entorno y el factor ambiental limitante.

Finalmente, la Ley del Mínimo y su corolario sobre los rendimientos decrecientes estudiados por H. Hellriegel y H. Wilfarth (1888), E.A. Mitscherlich (1909), O.W. Willcox (1870) seguidos en corolarios más específicos por Spillman (1919), Baule (1918), O.W. Willcox (1937) o Bray y Kurtz (1945), sentaron las bases no solo de la química agrícola sino de la **expansión ideológica del modelo productivista de la agricultura moderna sustentada en la aplicación externa de insumos externos.**



En el caso de la soja, ésta es una situación especialmente importante, durante los últimos años, donde además del avance hacia la agriculturización se ha producido una fuerte concentración en la plantación recurrente de soja, que además de ser altamente extractiva de nutrientes produce un efecto generador de un proceso erosivo, que arrastra también una proporción creciente de nutrientes, incluso a pesar de la siembra directa.

Es importante considerar que la situación de manejo local o regional en el caso del balance completo de los nutrientes es sumamente compleja, pero no obstante, las tendencias de extracción pueden ser demostrables.

Calcular el balance simplificado cuyos términos sean parámetros como cosecha, extracción, valor de la reposición, puede constituir una herramienta indicadora del grado de alejamiento o acercamiento a la sostenibilidad del recurso suelo y su productividad.

Especialmente es importante este indicador en aquellos territorios donde se contaba con una base de nutrientes muy importante, como en general se ha visto en las etapas originales de la pampa.

Para el cálculo de la exportación de nutrientes por las cosechas, es necesario considerar la concentración de los mismos en los granos y el nivel de producción alcanzado por período. Existe una considerable diferencia de exportación de nutrientes básicos por unidad de peso de grano, originada por los diferentes cultivos de difusión en la región pampeana. El cultivo de soja duplica aproximadamente la concentración de estos elementos en comparación con el trigo, el maíz o el girasol.

La alta extracción de nutrientes, las reducidas prácticas de manejo y su concentración en pocos cultivos sin ganadería, y la muy escasa reposición han resultado en la degradación de los suelos, especialmente aquellos con mayor frecuencia de soja en la rotación (Andriulo et al., 1996, Urricarriet y Lavado, 1997), es decir, aquellos suelos que han seguido un modelo de agricultura continua durante muchos años.

Esta es una situación especialmente importante, durante los últimos años, donde además del avance hacia la agriculturización se ha producido una fuerte concentración en la plantación recurrente de soja. Además de ser altamente extractiva de nutrientes, ello produce un efecto que, incluso a pesar de la siembra directa, genera un proceso erosivo que arrastra también una proporción creciente de nutrientes.

Es importante considerar que la situación de manejo local o regional en el caso del balance completo de los nutrientes es sumamente compleja, pero no obstante, las tendencias de extracción pueden ser demostrables. Calcular el balance simplificado cuyos términos sean parámetros como cosecha, extracción, valor de la reposición, puede constituir una herramienta indicadora del grado de alejamiento o acercamiento a la sostenibilidad del recurso suelo y su productividad. Especialmente es necesario este indicador en aquellos territorios donde se contaba con una base de nutrientes muy importante, como en general se ha visto en las etapas originales de la pampa.

Para el cálculo de la exportación de nutrientes por las cosechas, es necesario considerar la concentración de los mismos en los granos y el nivel de producción alcanzado por período. Existe una considerable diferencia de exportación de nutrientes básicos por unidad de peso de grano, originada por los diferentes cultivos de difusión en la región pampeana. El cultivo de soja duplica aproximadamente la concentración de estos elementos en comparación con el trigo, el maíz o el girasol.

El contenido de potasio promedio de los suelos de la región pampeana se considera alto. Loewy y Puricelli (1984) analizando niveles de K disponible de muestras de suelo del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, encontraron niveles entre 700 y 1200 ppm de K disponible.

Similares resultados se obtuvieron en el sudeste de la provincia. En el centro y sur de Córdoba se encontraron niveles altos de K (532 a 1176 ppm de K intercambiable), tanto en la capa arable como en el subsuelo.

Extracción de nutrientes de diversos cultivos para producir una tonelada de grano o materia seca (según producto cosechado).

Nutriente	Maiz	Soja	Trigo	Girasol	Alfalfa
	Kg./Tn grano o materia seca				
Nitrógeno	22	30	20	20	27
Fósforo	4	6,72	5	5	2,7
Potasio	3,67	19,47	3,45	6	21
Calcio	0,20	3	0,38	1,68	1,9
Magnesio	1	2,70	2	2,90	3
Azufre	4	4,69	4,5	5	3,5
Boro	0,020	0,025	0,025	0,165	0,030
Cloro	0,44	0,237	-	-	-
Cobre	0,013	0,025	0,010	0,019	0,007
Hierro	0,125	0,300	0,137	0,261	0,040
Manganeso	0,189	0,150	0,070	0,055	0,025
Molibdeno	0,001	0,005	-	0,029	0,0003
Zinc	0,053	0,060	0,052	0,099	0,015

Fuentes: Promedio en base a datos de Thompson et. al, 1980, Darwich, 1983, Darwich, 1990, Osaki et al, 1991, García, 1995, Inpofos 1999, Ventimiglia et al, 2000, Galarza et al, 2001, García et. al , 2001, Ferraris, 2001, Garcia, 2001, Di Ciocco et al, 2004, Gelatti y Vazquez, 2004, Pengue, 2003,2004.

Considerando el nivel crítico de 130 ppm, es poco factible que, para las condiciones normales del cultivo de soja en la región pampeana, la disponibilidad existente ocultaría esta extracción.

Los niveles de Ca, Mg y S, en general, presentan aún cantidades adecuadas.

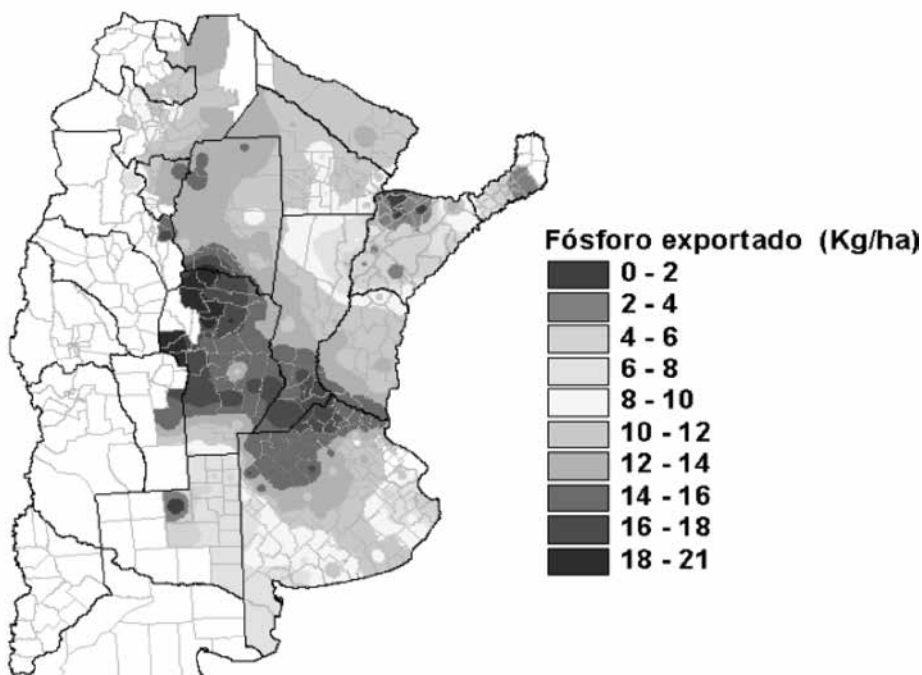
La Soja y extracción de fósforo

El fósforo es un elemento esencial para la producción agrícola. Asimismo, toda la Región Pampeana argentina, unos 55.000.000 no tenía limitaciones en la disponibilidad de este elemento hasta principios de los años ochenta. A partir de allí comenzó una pérdida, que implica directamente un agotamiento por un lado y por el otro, importantes pérdidas económicas.

La frontera entre las áreas de suficiencia y deficiencia, 20 y 10 ppm respectivamente, va desplazándose paulatinamente hacia el oeste. Lo mismo está

sucediendo en el sur de Santa Fe y el oeste de la provincia de Buenos Aires. Los suelos agrícolas del noreste santafesino presentan bajo contenido de P disponible al igual que porciones importantes del territorio del sudoeste cordobés.

Fósforo (P) exportado en kilogramos/hectárea en los principales territorios sojeros de la Argentina.



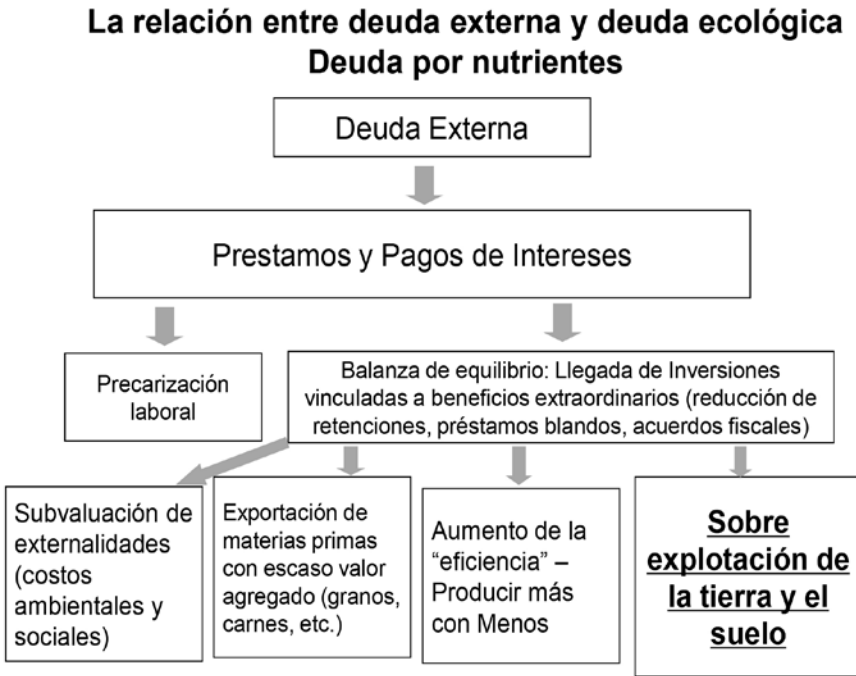
Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Suelos, 2003

La tasa de extracción anual está creciendo en toda el área a su vez, por el cambio importante hacia agricultura continua. Se puede observar que la extracción del nutriente (poco móvil en el suelo), se concentra en las áreas del núcleo sojero/maicero de la Argentina, extendiéndose incluso en la actualidad, hacia las zonas más marginales del sector productivo donde también se comienza a producir soja, con nuevos grupos de madurez adaptados y bajo el sistema de siembra directa..

Entonces, por una parte Argentina exporta granos, con una extracción importante de nutrientes, incluso bajo sistemas de labranza diferentes hasta con aquellos "más sustentables" como la siembra directa, incrementando la deuda ecológica regional al no permitir la reposición natural rotacional, y por otro lado, importa barcos con fertilizantes minerales para suplir y mantener artificialmente estos niveles productivos.

El tema de la deuda externa y su relación con la sobreexplotación de los recursos naturales y humanos y la creciente deuda ecológica, potencia la necesidad de investigación sobre la situación de los suelos. La presión por el aumento de las exportaciones, aumenta a su vez la presión sobre los recursos, en especial el suelo, que sufre degradación, contaminación y exportación de nutrientes en cuanto a su calidad y un fuerte cambio de uso y pérdida consiguiente de su calidad ambiental y funcionamiento en cuanto al uso de la tierra. Al subvalorarse los costos ambientales y sociales, es decir las externalidades, la deuda ecológica genera una creciente pérdida del capital natural y productivo del país

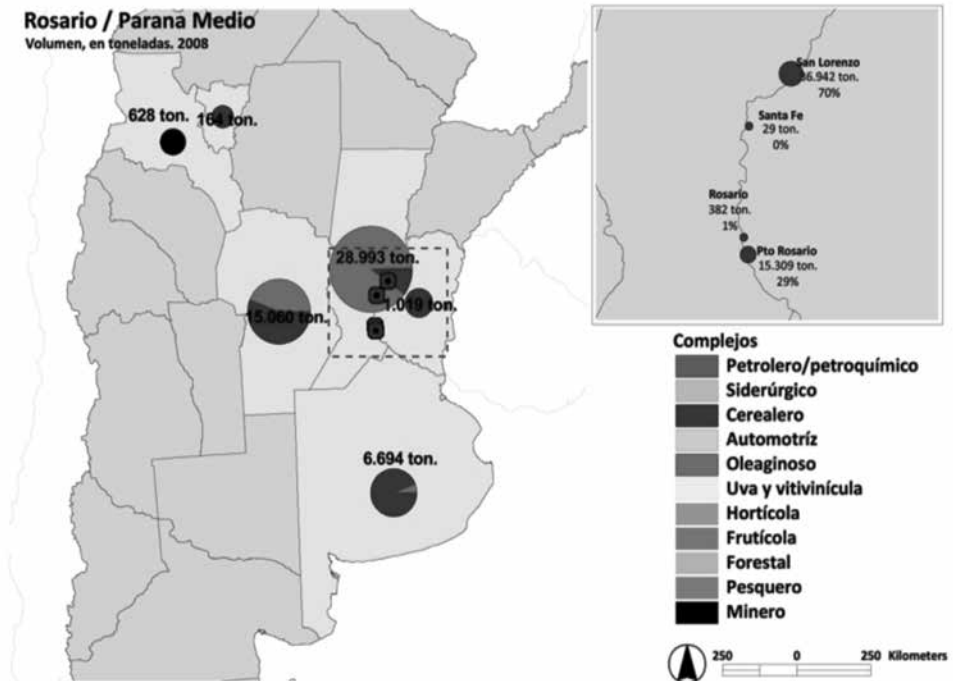
La deuda externa y la deuda ecológica. Su relación con la pérdida de nutrientes.



En ninguno de los dos casos, esta extracción-reposición, se puede contabilizar como un crédito al balance final de nutrientes del suelo, lo que implica un coste directo no reconocido y por tanto una externalidad, pagada socialmente por la degradación del recurso natural. Pero además, esta artificialización y utilización del sistema, especialmente cuando se aplican fertilizantes minerales, puede esconder efectos degradatorios del medio ambiente enmascarados durante un cierto tiempo.

Los complejos sojeros y mineros son los complejos de exportación más importantes en la Argentina. En la zona de producción y salida de la producción, la soja ocupa el primer lugar de manera jerárquica.

Exportaciones de los distintos complejos productivos en el Paraná Medio



Fuente: PICT 1636 – Transformaciones Metabólicas en la Cuenca del Plata (Fernandez, L, 2013).

Mapas de Suelos y de Extracción

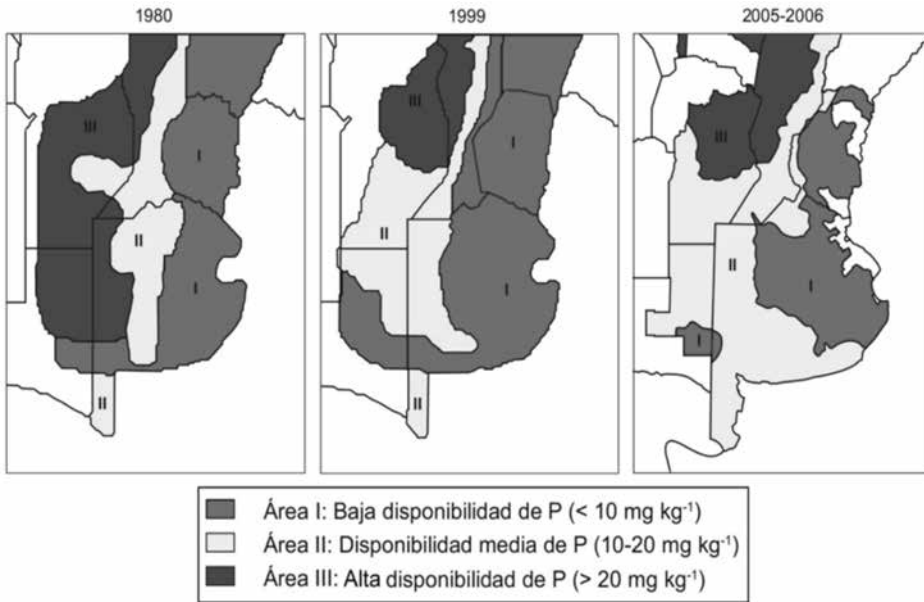
La “riqueza” en nutrientes de la Argentina está dada también por una disponibilidad de los principales nutrientes, los que en la última etapa de ingreso en una intensificación agroindustrial comienzan a hacerse sentir igualmente por su falencia localizada.

El ya citado caso del fósforo (P) es notable, pues a pesar de su relativamente buena disponibilidad, de la mano de la agricultura continua, la disponibilidad del nutriente en algunas subregiones del área pampeana está reduciéndose. Cuando la disponibilidad disminuye por debajo de los 10 ppm, la recomendación agrotécnica es la de fertilización.

Los balances negativos de P a lo largo de los años han reducido los niveles de P que hay en suelos de numerosas regiones agrícolas argentinas (Sainz Rozas et al., 2011). En el caso de N y S, sus dinámicas en el suelo están fuertemente ligadas

a la dinámica de carbono (C), es decir a la materia orgánica (MO), de hecho la MO ha sido principal fuente de N, de S y también de P en la agricultura pampeana y extrapampeana. De tal forma, los contenidos de MO han disminuido a partir de la introducción de la agricultura en la segunda mitad del siglo XIX. En una evaluación reciente, Sainz Rozas et al. (2010) determinaron reducciones de la MO del orden del 36% al 53% comparando suelos bajo condición agrícola, con suelos bajo condición prístina.

Evolución de la disponibilidad de P a lo largo de tres décadas en Argentina



Fuente: García y Cruzate adaptado de Sainz Rozas et al. (2011).

En general, los suelos bajo producción de granos en la región pampeana y las áreas del NOA y NEA, se han considerado bien provistos de micronutrientes. Relevamientos realizados por FAO a fines de los '70s determinaron solamente algunos suelos con bajos niveles de cobre (Cu) y zinc (Zn) (Sillanpaa, 1982). Los aportes de micronutrientes no resultaron en respuestas significativas, con excepción de algunas experiencias realizadas con boro (B) en girasol en el oeste de la región pampeana. Trabajos más recientes en la región pampeana norte mostraron un 20% de los suelos revelados como deficientes en Zn según estándares internacionales.

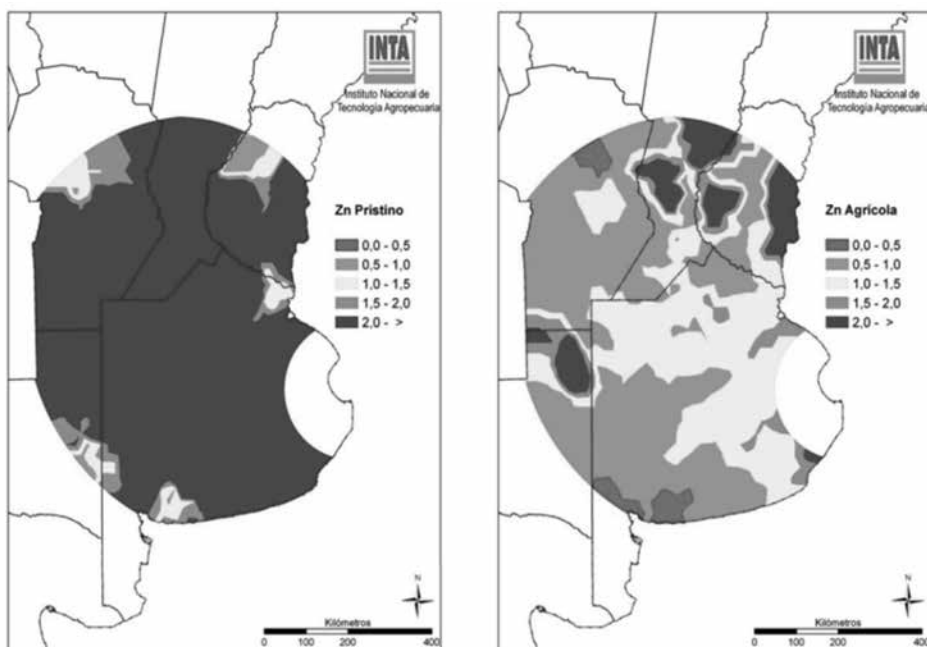
No obstante, la expansión e intensificación de la agricultura observada en los últimos 20 años tuvo como resultado la detección de áreas agrícolas con niveles de

disponibilidad, fundamentalmente de B y Zn, menores a los observados en áreas prístinas y por debajo de los estándares internacionales (Sainz Rozas et al., 2013).

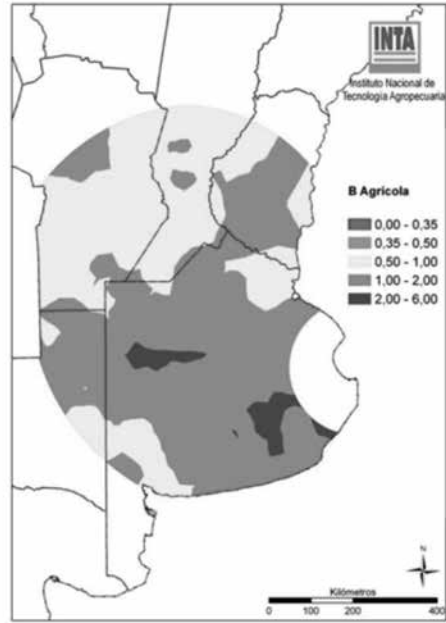
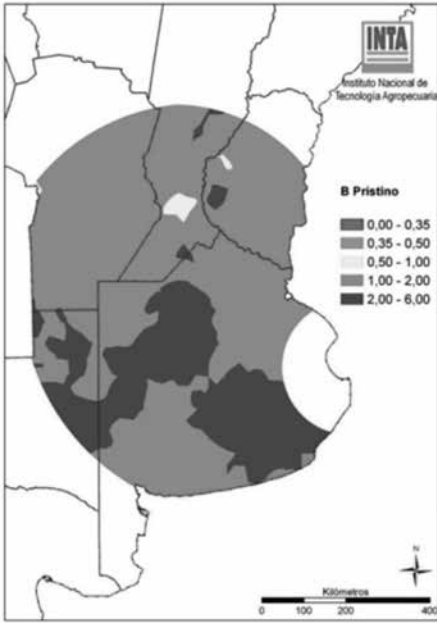
Estas caídas en la disponibilidad de B y Zn estarían reflejando los balances negativos debido a la alta y continua extracción y la casi nula reposición por fertilización u otro tipo de abonos. Se han encontrado respuestas significativas a Zn en maíz y otros cultivos, principalmente en las regiones sur de Córdoba, sur de Santa Fe y centro-norte de Buenos Aires (Michiels y Ruffo, 2012).

También se han reportado respuestas a Zn en suelos arroceros de Entre Ríos (Quintero et al., 2006) y en trigo en algunas situaciones en el sur de Buenos Aires. Análisis iniciales indican que estas respuestas se observan en suelos con prolongada historia agrícola, con caídas importantes de MO o en suelos arenosos de bajo contenido de MO, y con niveles de Zn menores de 1 ppm (extracción con DTPA) (Ferraris y Couretot, 2013).

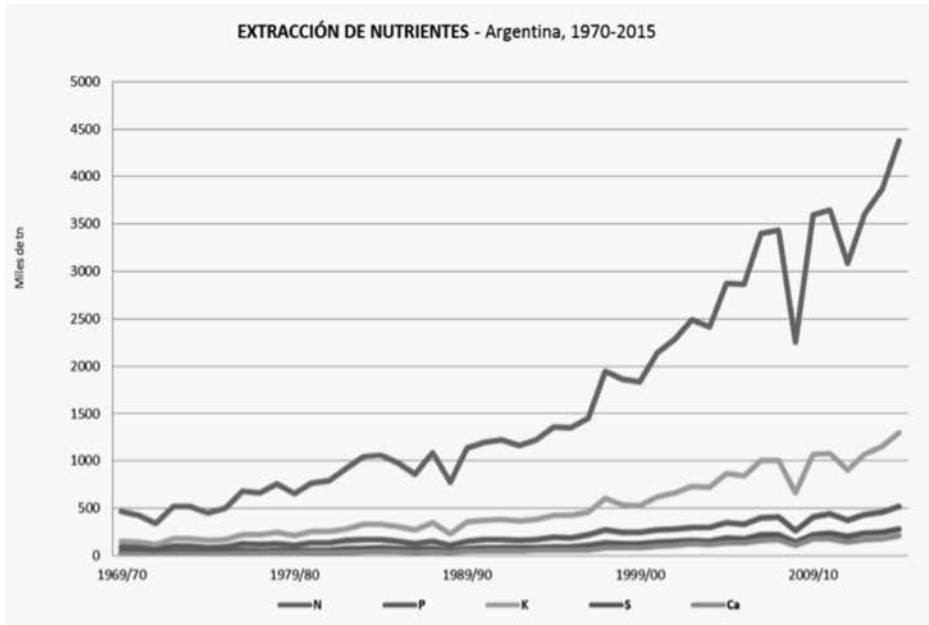
Rangos de valores de boro (B), superior, y de zinc (Zn) en suelos de la región pampeana en suelos prístinos y con prolongada historia agrícola.

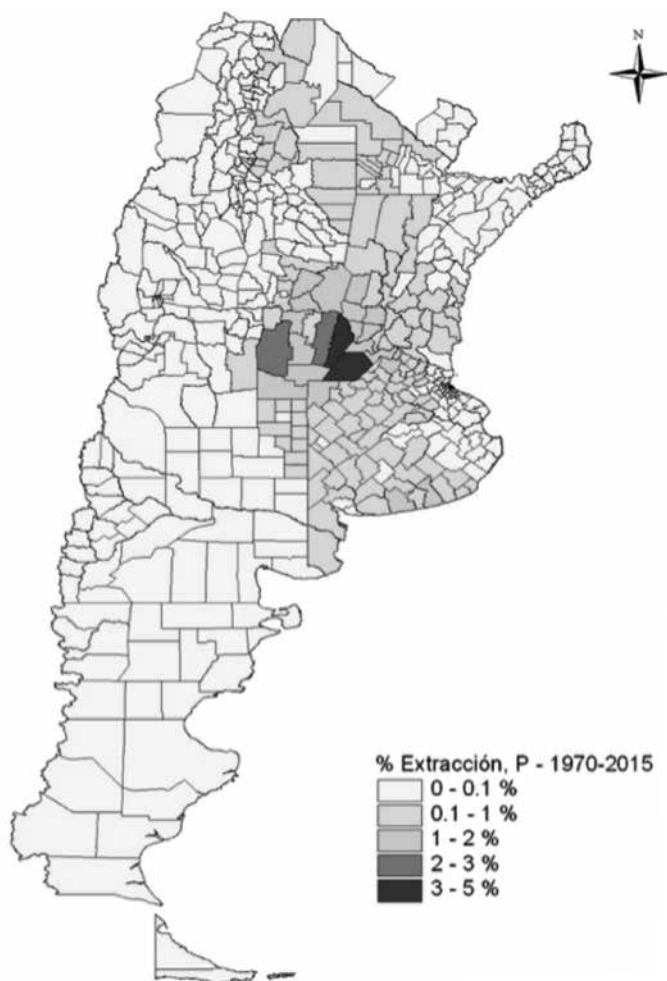


Fuente: Sainz Rozas et al. (2013).



Fuente: Sainz Rozas et al. (2013).



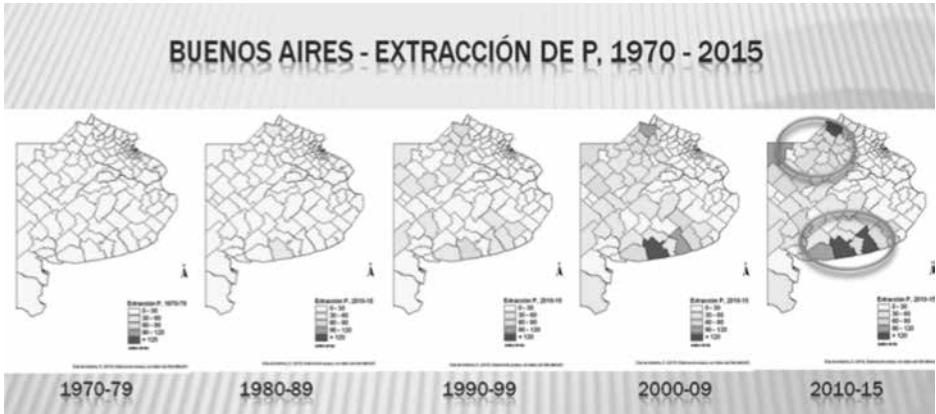


Fuente: Seminario Metabolismo de Suelos (GEPAMA-ICO-FHB 2015) - PICT 1636 ICO UNGS Transformaciones Metabólicas en la Cuenca del Plata (Díaz de Astarloa 2015).

El fósforo es uno de los nutrientes que preocupa por su disponibilidad, su movilidad limitada y su agotamiento en las principales cuencas productivas. Por ejemplo en la región pampeana, en especial en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, se concentra con notable extracción, especialmente hacia los últimos años de la década pasada y actual, obligando a una reposición vía fertilizantes sintéticos.

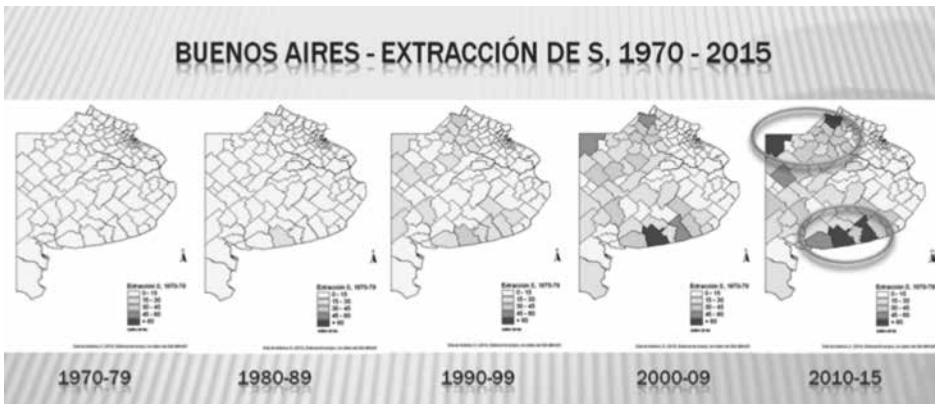
En la provincia de Buenos Aires, entre los años setenta y la actualidad, la extracción ha sido creciente y con balance negativo, dado que la reposición ha sido muy limitada y dependiente de los precios relativos de los fertilizantes minerales. Por ejemplo, hasta los años noventa, las dos cuencas trigueras principales (NEA pampeano y sur), prácticamente no utilizaron fertilizante alguno en la reposición,

siendo el trigo parte de una rotación agrícola ganadera, rotaciones que se truncaron con la llegada de la soja y el proceso de agriculturización, más concentrado en la oleaginosa que en los cereales. Entre los años setenta y el 2015, la provincia de Buenos Aires, exportó 25 millones de toneladas de nitrógeno, casi siete millones de toneladas de fósforo; casi siete millones de toneladas de potasio, y un millón de toneladas de calcio.



Fuente: Seminario Metabolismo de Suelos (GEPAMA-ICO-FHB 2015) - PICT 1636 ICO UNGS Transformaciones Metabólicas en la Cuenca del Plata (Díaz de Astarloa 2015).

Un aspecto que comienza a hacerse notable también en Buenos Aires, se refiere a la extracción de otros oligo y micronutrientes. Al concentrarse la extracción de estos de manera selectiva y con cada vez menos cultivos, desapareciendo la rotación ganadera, su costo de reposición es cada vez mayor. El azufre es un oligoelemento y limitante en la producción agrícola, en especial en cultivos como la soja. La extracción, en Buenos Aires, alcanzó casi a las 2.000.000 de toneladas del mineral, desde los setenta hasta la actualidad (Mapa).



Fuente: Seminario Metabolismo de Suelos (GEPAMA-ICO-FHB 2015) - PICT 1636 ICO UNGS Transformaciones Metabólicas en la Cuenca del Plata (Díaz de Astarloa 2015).

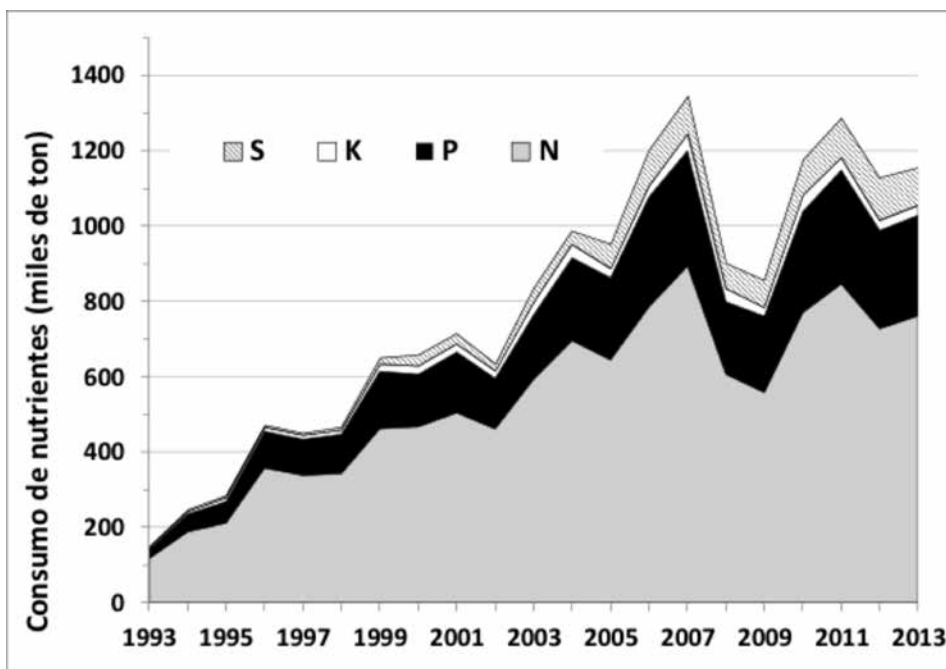
Reposición por Fertilizantes

Uno de los fenómenos que ha venido acompañando el proceso de expansión de la agricultura industrial y el sistema de agriculturización/pampeanización que se está dando en una buena parte del territorio argentino, se vincula también con el crecimiento del consumo de fertilizantes sintéticos.

Entonces (Ver ecuación anterior), por un lado, se extraen crecientes cantidades de nutrientes del suelo, que en especial se exportan a regiones lejanas (suelo virtual) y por el otro lado, se potencian los procesos de incorporación a la agricultura de fertilizantes sintéticos, que si bien pueden reponer el nutriente faltante, también generan en el mediano plazo, efectos colaterales a la producción agropecuaria, cuando en especial estas prácticas son tomadas como una única alternativa de reposición de los nutrientes perdidos.

El consumo de fertilizantes en Argentina se incrementó 7.7 veces entre 1993 y 2013, pasando de unas 150 mil a 1.15 millones de toneladas de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S), equivalentes a unas 3.2 millones de toneladas de producto fertilizante.

Consumo aparente de nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) como fertilizantes en Argentina para el periodo 1993-2013.



Elaborado por García y Correndo, a partir de datos de MinAgri (<http://www.minagri.gov.ar/site/>) y Fertilizar Asociación Civil (<http://www.fertilizar.org.ar/>).

Actualmente, la capacidad de producción nacional de fertilizantes incluye 1-1.3 millones de toneladas de urea, 250-300 mil toneladas de UAN, 80-90 mil toneladas de tiosulfato de amonio, y 450-500 mil toneladas de superfosfato simple. Asimismo, existen numerosos productores de minerales, principalmente sulfato de calcio (yeso), distribuidos en todo el país.

El resto de los fertilizantes se importa desde distintos orígenes (Canadá, Rusia, EE.UU., Marruecos, Medio Oriente, etc.). La Tabla siguiente indica el desglose de fertilizantes por grupo químico y cultivo consumidos en la campaña 2013 según información brindada por Fertilizar Asociación Civil (García y Correndo 2015).

Mercado de fertilizantes por nutriente y cultivo. Datos expresados en términos de toneladas de fertilizante producto. Elaborado por García y Correndo, en base a información de Fertilizar Asociación Civil (<http://www.fertilizar.org.ar/>).

Grupo químico	Trigo	Maíz	Soja	Girasol	Cebada	Sorgo	Pasturas	Otros ¹	Total
-----toneladas de producto fertilizante-----									
Mercado Nitrogenados	363650	533194	-	37671	146352	51630	111983	277531	1522011
Mercado Fosforados	169730	231004	750329	30530	59441	44542	40528	7875	1404179
Mercado Potásicos	-	-	-	-	-	-	-	73747	73747
Mercado Azufrado	20145	26072	113143	1758	4808	3557	1533	6373	177390
Otros ²	4811	8538	38608	180	4806	2500	-	10378	69821
Total x cultivo	558336	798808	902080	70,139	215,408	102,228	154044	446103	3247147

¹ Otros cultivos incluye Frutales, Cítricos, Vid y Uva, Parra, Caña de azúcar, Tabaco, Arroz, Hortícolas, Algodón, Yerba mate, Olivos, Forestales y Ornamentales.

² Otros Fertilizantes: Incluye productos que por su composición química no tipifican para ninguno de los Grupos químicos anteriores.

El área fertilizada con N y P es alta en trigo, cebada y maíz, menor en sorgo y baja en girasol.

El caso de soja es interesante, ya que no se fertiliza con N porque el aporte de este nutriente se realiza a través de la fijación biológica de N (FBN); y con respecto a P, si bien el área fertilizada y la dosis han aumentado a lo largo de los últimos años, las mismas aún se consideran bajas a partir de los niveles bajos de P del suelo en gran parte de las regiones sojeras.

Proyecciones del mercado de fertilizantes para el 2020 indicarían un mercado futuro de 9-10 millones de toneladas de fertilizantes, a partir de los incrementos de área sembrada proyectados y mejoras necesarias en los balances de nutrientes (ver siguiente sección) (Oliverio, 2013).

**Estimación de dosis y porcentaje de área fertilizada por cultivo en Argentina
en la campaña 2011/12.**

Cultivo	Área sembrada (ha)	Dosis y área fertilizada	N	P	S	Fertilizante
Soja	18 362 498	kg/ha	-	18	23	166
		% área fertilizada	-	58	7	62
Maíz	4 777 721	kg/ha	76	18	14	229
		% área fertilizada	74	66	4	88
Trigo	4 608 749	kg/ha	57	17	20	174
		% área fertilizada	65	66	5	83
Girasol	1 813 169	kg/ha	35	12	8	73
		% área fertilizada	32	56	1	77
Sorgo	1 437 784	kg/ha	43	14	15	120
		% área fertilizada	44	58	5	73
Cebada	1 202 717	kg/ha	53	18	23	166
		% área fertilizada	63	83	7	94
Todos los cultivos	32 202 638	kg/ha	62	16	15	130
		% área fertilizada	26	61	6	71

Fuente: Fertilizar Asociación Civil (<http://www.fertilizar.org.ar/>).

Un aspecto que ha merecido especial atención en los últimos años, es el balance de nutrientes (García y González Sanjuan, 2010 y 2013; Cruzate y Casas, 2012).

Básicamente, el balance de nutrientes es la diferencia entre las cantidades de nutrientes aplicadas y removidas de un sistema de producción.

Se puede estimar a distintas escalas: espacial (lote, establecimiento, región, país) y temporal (cultivo anual, toda una secuencia de rotación, etc.) (García y Cruzate 2015). En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de "caja negra", es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo, por ese motivo es que este componente está considerado como un stock fijo.

En sistemas agrícolas que no incluyen la rotación ganadera, las principales salidas o pérdidas de nutrientes del suelo son la cosecha de biomasa en general, sea para granos o forrajes. Entre las entradas o ganancias, se puede incluir a los fertilizantes, las enmiendas y los abonos orgánicos.

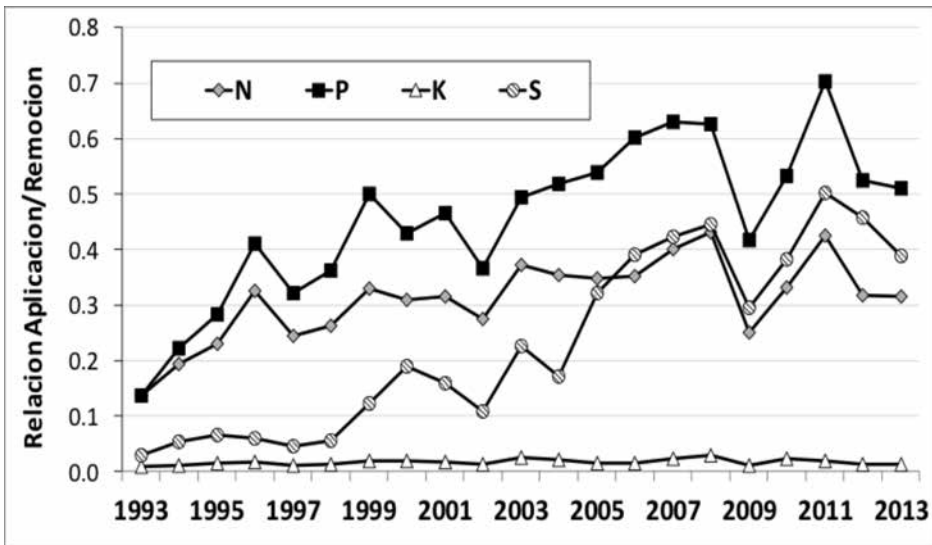
Los balances afectan las reservas y, en consecuencia, la oferta de nutrientes de los suelos, la cual determina los rendimientos y la biomasa no cosechada (residuos) y afecta la calidad del suelo, del aire y del agua del ecosistema.

A su vez, la biomasa no cosechada impacta sobre los balances de C orgánico y la protección del suelo contra factores erosivos. Balances fuertemente positivos de nutrientes pueden generar excesos de nutrientes en los suelos que conduzcan a la contaminación del suelo, del aire y/o del agua.

Por otra parte, los balances negativos reducen la fertilidad del suelo pudiendo afectar seriamente la producción (rendimientos y biomasa no cosechada).

La gráfica siguiente, desarrollada por García y Cruzate (2015), muestra la evolución de los balances de N, P, K y S para los cuatro principales cultivos de grano en Argentina entre 1993 y 2013. En este caso, el balance se expresa como la relación Aplicación/Remoción e indica que, para 2013, se estimó una reposición vía fertilización de los nutrientes extraídos por las cosechas del 32%, 51%, 1% y 39% de N, P, K y S, respectivamente. La figura también muestra que, si bien la reposición de nutrientes es aún inferior a la remoción por las cosechas, el balance de N, P, y S ha mejorado en los últimos 20 años. Los bajos niveles de reposición de K, se basan principalmente en la aún alta oferta del nutriente en la mayoría de los suelos de la región.

Evolución de la relación entre aplicación y remoción media estimada de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) para soja, maíz, trigo y girasol en Argentina. Período 1993-2013



Fuente: Elaborado por García y Cruzate (2015), a partir de datos de MinAgri y Fertilizar AC.

Uno de los aspectos más relevantes para un productor agropecuario en cuanto a la cuestión de los fertilizantes tiene relación con los costos. En este sentido, tanto para la producción de grano como para la de pasturas y forrajes para el ganado, la ecuación aplicada para reponer o no, tiene que ver con los precios de diferencia que hacen rentable al productor, la aplicación o no de fertilizantes sintéticos.

En este sentido además del problema de aplicar de manera recurrente una fertilización sintética, la situación de los costos agrega una presión adicional sobre el sistema que o por un lado se somete a una extracción sin reposición y por el otro, a una aplicación de materiales, con creciente costo.

Es así que a nivel predial, para una hectárea promedio en la Región Pampeana, el costo de reposición con fertilizantes sigue siendo alto para el productor promedio.

**Precio de los Fertilizantes más comunes en la Región Pampeana argentina
(Valores en dólares por tonelada de fertilizante a Diciembre de 2013)**

Precio de Fertilizantes	Dólares/t
DAP	737,75
UREA	630,00
Yeso Agrícola	106,38
Sulfato de Potasio	810,00
Sulfato de Magnesio (Kieserita)	600,00
Super Fosfato Simple	377,75

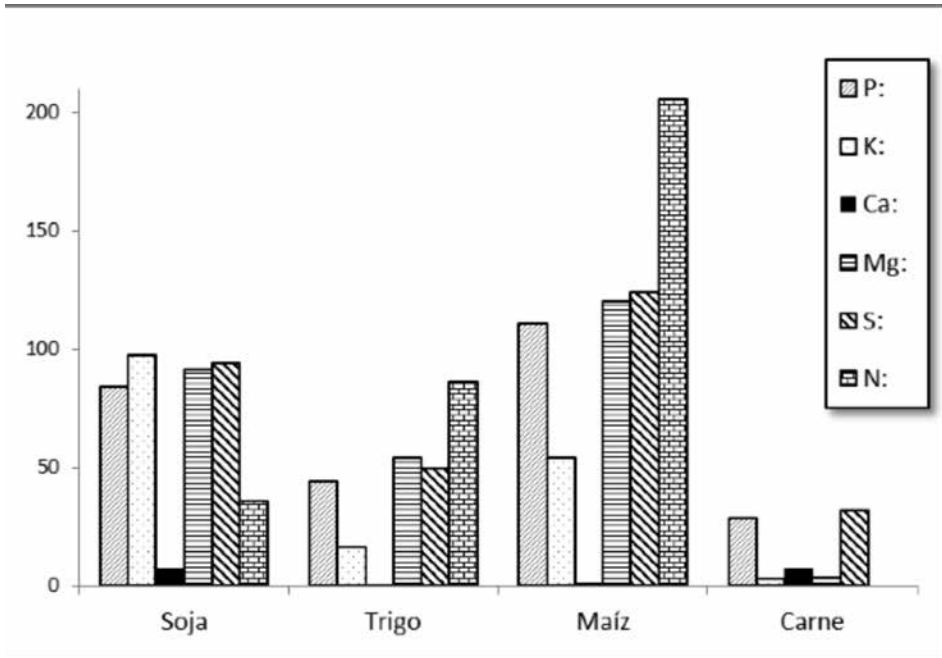
Fuente: INTA 2013

**Costos de fertilización en dólares por hectárea para los principales nutrientes
(convertidos a fertilizantes) para los principales cultivos y carne en la Región
Pampeana argentina.**

u\$s fertz/ha Rend. Sim.	para P: P ₂ O ₅ 2(NH ₄)	para K: SO ₄ K ₂	para Ca: SO ₄ Ca	Para Mg: SO ₄ Mg	para S: SPS	para N: Urea	Totales u\$s/ha
Soja	83,87	97,47	7,03	91,20	94,07	35,78	409,42
Trigo	44,14	16,20	0,56	54,00	49,51	86,28	250,69
Maíz	110,35	54,00	0,93	120,00	123,77	205,43	614,48
Carne	28,44	2,70	7,24	3,14	31,89	0,00	73,41

Fuente: INTA 2013

Costo de los principales fertilizantes en los principales cultivos y carnes por hectárea en la región pampeana argentina (no incluye costos de aplicación).



Capítulo 6

Los intangibles ambientales

“Con el sudor de tu rostro comerás pan hasta que vuelvas al suelo, porque de él fuiste tomado. Porque polvo eres y en polvo te convertirás (Génesis 3:19).

Los Materiales de Base y sus Flujos

Desde mediados de la década de los setenta, los suelos de la región pampeana comienzan a sufrir una extraordinaria presión, fruto de la transformación de la actividad agrícola generada por la adopción de la moderna tecnología, la concentración económica y aumento de la escala, la irrupción de nuevas formas organizativas y una fuerte orientación y dependencia del mercado exportador.

En ese período comienza una veloz expansión hacia las monoculturas maiceras, girasoleras y trigueras (agriculturización) para más adelante concentrarse en el cultivo de soja (sojización), práctica que se difundió velozmente en las épocas posteriores, al poder ser combinado en un planteo rotacional bajo el sistema de siembra directa, con trigo.

Esta situación mejoraba la situación financiera de los productores, al facilitar la combinación ajustada de ciclos productivos y por ende encajar tres cosechas cada dos años. En una primera etapa, la intensificación agrícola se llevó adelante basada en labranzas convencionales que incrementaron los procesos de erosión hídrica y eólica. Luego vino la implementación desde mediados de los noventa de la técnica conservacionista de la siembra directa (Pengue: 2000).

La actividad agrícola forma parte de cada uno de los ciclos de los nutrientes, existiendo una fuerte interrelación entre los nutrientes, sus ciclos y el funcionamiento del sistema productivo (Dominati et al, 2010). De hecho la fijación en el suelo, su extracción, circulación y sustitución al mismo funcionará de distinta manera, en tanto y en cuanto los distintos productos de las transformaciones agropecuarias, se transforman y consumen en fuentes demandantes cercanas o lejanas del lugar original donde se encuentra el nutriente.

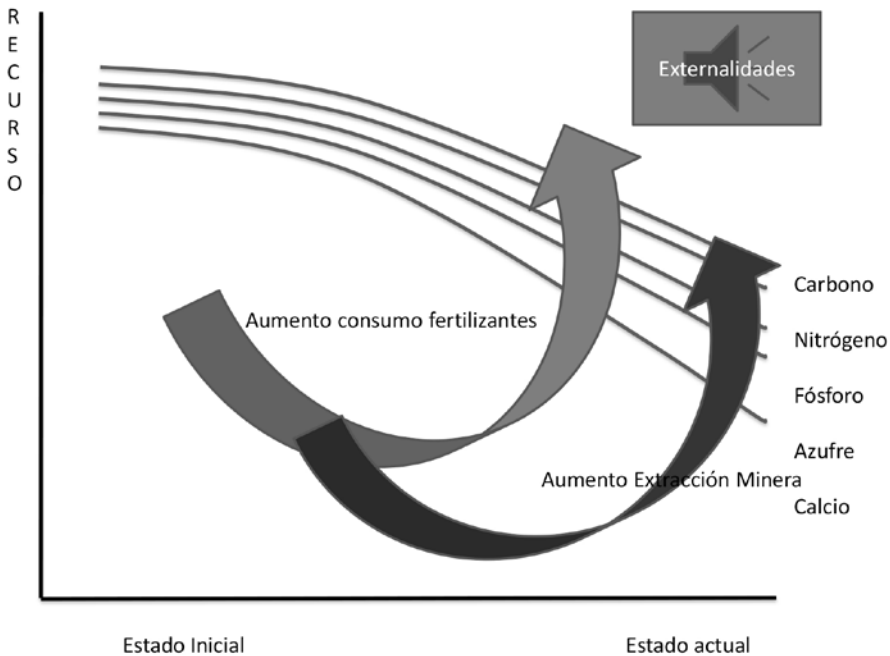
No será lo mismo entonces, revisar lo que sucede en la producción del maíz, girasol, el trigo o la carne (vacuna), que con la soja, especialmente siendo ésta última destinada casi en su totalidad a los mercados externos, mientras los primeros

mantienen - con sus vaivenes - un consumo interno algo sostenido, desigual, pero integrado aun en parte hacia la sociedad local.

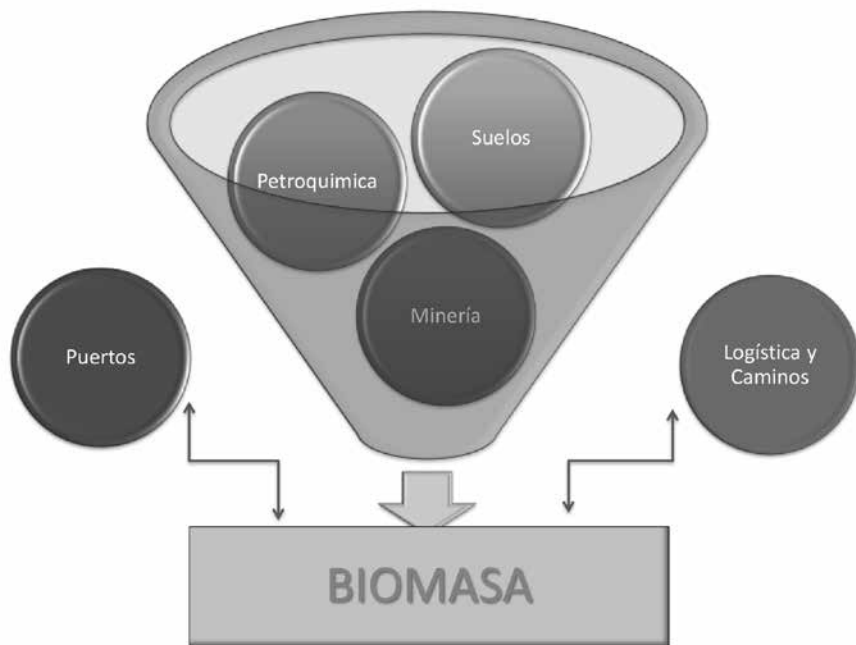
Aquí, en el análisis de los productos de exportación que salen del país y utilizan una importantísima porción de los ricos suelos pampeanos, se debe considerar la evaluación del suelo virtual.

Metodologías aplicadas al manejo de los suelos

El cambio del sistema productivo en el campo argentino, no sólo ha involucrado un proceso de incorporación tecnológica y prácticas agronómicas enmarcadas en un sistema económico financiero que apuntó exclusivamente a la exportación de commodities. Este cambio además se enmarcó en la construcción de un enclave, en un cluster productivo que ha dado cuenta de un conjunto de procesos y cambios territoriales y lógicas agroindustriales, industriales, territoriales y laborales que vienen convirtiendo al país y la integración en el uso de los recursos, en un territorio de transformación importante sostenido en todo el caso, sobre la base de sus recursos naturales, tangibles, intangibles y el posicionamiento estratégico e integrado que varios de ellos tienen.



La agricultura industrial se compone actualmente de una interacción de factores. Todos ellos apuntan a la producción de biomasa, sean en productos agroindustriales, biocombustibles o biomateriales, muchos de ellos para ser exportados al mercado global.



Intangibles ambientales y formas de valoración

Hoy, varios recursos naturales y servicios ambientales comienzan a tener un nuevo significado, ya sea por su escasez relativa, por su relevancia necesaria para una determinada producción o justamente por la degradación a la que los estamos sometiendo. Mucho se ha dicho y escrito ya sobre la teoría de la renta desde hace más de un siglo, y del valor que la distancia o la calidad de un recurso tenía sobre el precio de un determinado bien.

Actualmente, merced a la limitación relativa que el mundo comienza a enfrentar con respecto a determinados recursos naturales y servicios ambientales, una *neorenta* ambiental comienza a discutirse y a poner en valor, un valor total no sólo crematístico desde varias esferas del conocimiento.

Cuando movemos minerales de una parte del mundo al otro, contabilizamos su peso, la masa que movemos y ya comenzamos a calcularlo y evaluarlo. Pero ¿qué sucede en cambio con los recursos de base que hemos incorporado a esta transformación o que necesitamos para la misma, pero no “están visibles” en las cuentas de producción? Por ejemplo, están invisibilizados los nutrientes involucrados en los granos que exportamos, o el agua necesaria para producirlos o para transportar a los millones de toneladas de minerales, o consumida en la producción del papel o de la misma computadora que Ud. ahora mismo está utilizando para la lectura por uno u otro medio. ¿Qué sucede con el espacio vital, en términos de tierra que se utiliza, en uno u otro lugar del mundo? No es suficiente ni demasiado valioso, medir solamente la disponibilidad de tierras a escala global, si tampoco tenemos en cuenta justamente “el lugar del mundo” donde la misma está ubicada. No es lo mismo una tierra ubicada en el trópico, en el desierto, en un valle o en un área templada del planeta. Tampoco es igual su contenido de nutrientes.

Esto que es tan necesario pero aún no está calculado en las cuentas de producción y transformación, son los “recursos incorporados” (que no se perciben en los cálculos) en los productos que consumidos. La mochila ecológica (Pengue 2009) es justamente parte de ello, cuando hablamos de mochila de materiales, medidos en kilogramos o toneladas. Serán intangibles ambientales cuando estos recursos, “han quedado atrás” y ya no están incorporados en el producto (como el agua) o si forman parte de los mismos (como los nutrientes, en el caso de los granos, carnes, maderas).

Estos recursos tienen un valor intrínseco y también económico. Esto es relevante para la discusión de los países en vías de desarrollo. Toda su agricultura, pecuaria, forestal, pesquera, se basa en el uso “intensivo” de estos recursos. Las economías en vías de desarrollo, a diferencia de las economías desarrolladas, son intensivas ecológicamente, utilizando estos bienes de la naturaleza, mientras que las economías desarrolladas, lo hacen pero a través de la intensificación de procesos sintéticos. Si los agricultores pagan cuando incorporan un fertilizante sintético a sus cultivos, ¿porqué no deberían incorporar ese costo a los precios de los alimentos que exportamos, cuando los nutrientes incorporados y extraídos desde el suelo, son los que nutren directamente a las plantas, los animales o los árboles que se producen?

Nace así el concepto de **Intangible Ambiental** (Pengue 2012). Este nuevo elemento es imprescindible para garantizar la producción de los productos primarios que la economía global demanda y por los que aún no paga nada.

La economía verde debería entonces incorporar ese intangible ambiental en beneficio de las economías en desarrollo basadas en la agricultura y reconocer en ellos un valor cuando estos bienes responden a flujos de exportación.

¿Qué es un intangible ambiental?

La especie humana, al igual que cualquiera de las otras especies del planeta, utiliza recursos naturales para su reproducción y supervivencia. En el marco de ese proceso, los sistemas económicos reconocen el "uso" de ciertos recursos a través de su compra, intercambio y transformación.

Así se compran semillas, minerales, metales, energía, trabajo o capital por los cuales se pagan y a los cuales se reconoce un determinado valor o precio. Incluso actualmente, son muchos los servicios ambientales, que más allá de las apropiadas y necesarias discusiones, cotizan en mercados formales.

Por otro lado existen otros recursos y también servicios que no son incluidos dentro de las balanzas de ganancias o pérdidas de las empresas o de los Estados. Sin ellos sería prácticamente imposible producir. Estos son los bienes o recursos "de base" para esta producción o para garantizar directamente su posibilidad productiva. Es claro y ha sido histórica la discusión por la "tierra" en términos de su renta, sea por distancia, sea por calidad.

Capítulo 7

El flujo mundial de nutrientes y la producción primaria

“La tierra es insultada y ofrece las flores como respuesta”.
Rabindranath Tagore

Desarrollo de casos por producto

El caso de la agricultura industrial hasta ahora se ha concentrado en la promoción de una demanda mayor y creciente de nitrógeno, fósforo y potasio, conocidos como NPK, dependiendo del cultivo en cuestión.

No obstante en los últimos años, con la intensificación agrícola, la disponibilidad hídrica y la monocultura sojera, se potencian nuevas acciones para aumentar el techo productivo.

Este proceso está siendo impulsado por compañías específicas que promueven el nicho de la “nutrición complementaria,” basada en compensar con elementos minerales que usualmente no se adoptan, como los micronutrientes. En este nuevo paquete se promueve la aplicación de fitoestimulantes de alto impacto durante el periodo vegetativo del cultivo, que se aplican en el momento de tratamiento de semillas, o como herbicidas. Llegan así, nuevos productos como el *Top Zinc* que es un producto hecho en base a potasio, cobalto y molibdeno, que favorecen la fijación biológica de nitrógeno en soja, hecho que además, aporta boro y zinc.

Agricultura y globalización

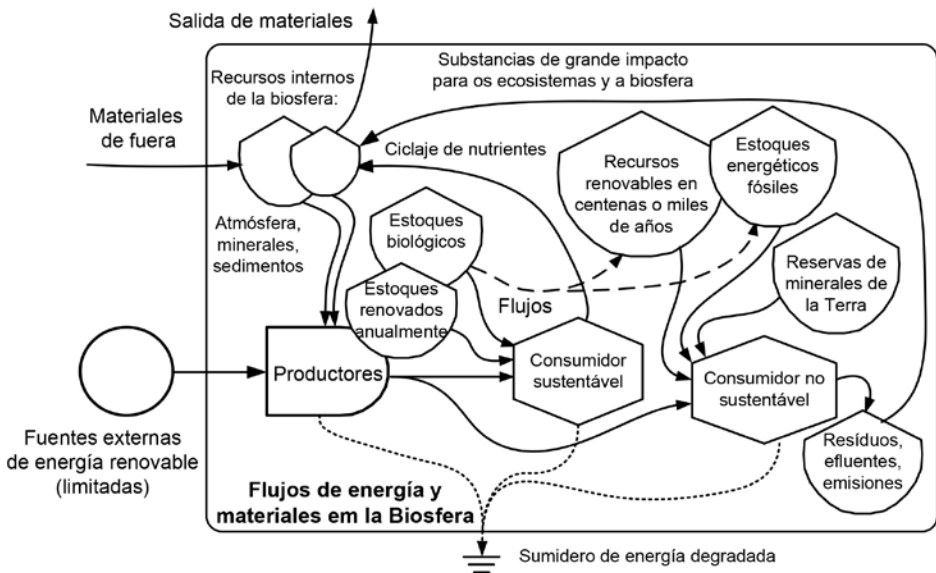
Uno de los procesos más complejos e interactivos que ha tenido el comercio internacional de las últimas décadas ha sido una enorme transferencia de recursos desde las economías agrícolas locales y su incorporación a la demanda mundial de granos.

Si bien el proceso formó parte histórica de un ciclo de intercambios, su intensificación se produce inicialmente acompañando los nuevos modelos de producción en la agricultura, en especial, luego de la incorporación y promoción de la llamada “revolución verde” desde los años cincuenta en adelante. Más allá de los

costos ambientales y sociales producidos por esta revolución, se produjo también una creciente interdependencia mundial en la producción de granos que afectó especialmente a la seguridad y soberanía alimentaria de los países de base agrícola local y campesina.

La energía y materiales que circulan hoy en la economía mundial, tienen a la biomasa de materiales como su centro de transformación y circulación más grande.

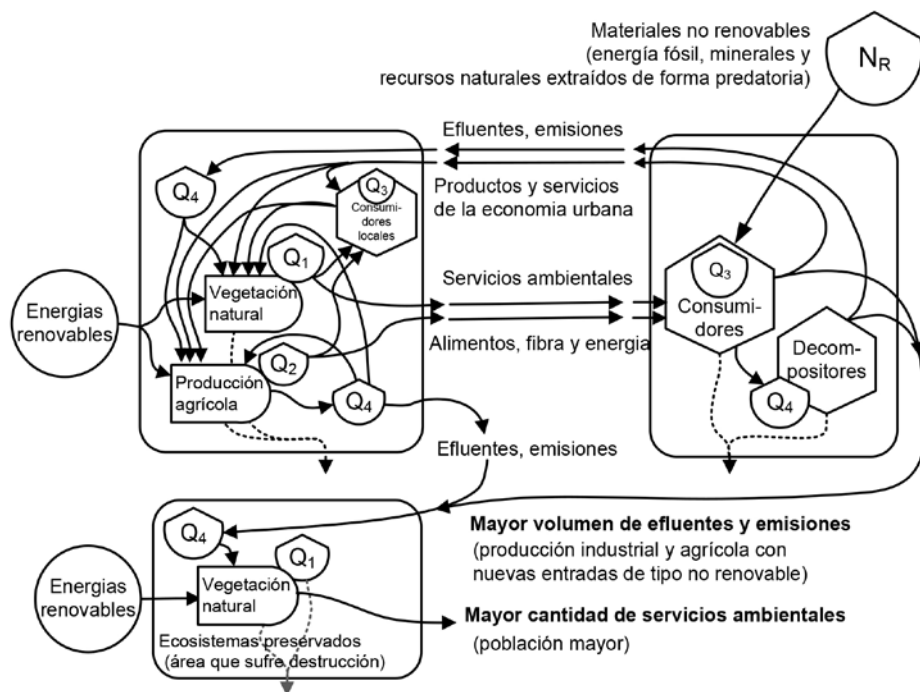
Flujos de materiales y energía en un sistema agrosilvopastoril



Fuente: Ortega, E (2013)

En otro orden, el transflujo del comercio agrícola mundial, produce un intercambio creciente y constante de materiales que se mueven de un punto a otro del planeta. Las ciudades, como centros de mayor consumo mundial, ejercen una fuerte presión sobre estos nuevos flujos globales

El flujo de materiales campo ciudad y la energía (Ortega, E.)



Mapa mundial del flujo de nutrientes en la agricultura

Los cambios generados por la intensificación de las actividades agrícolas son complejos y varían ampliamente en su magnitud a lo largo de todo el globo. Estimaciones realizadas por Vlek y otros (1997) indicaban un movimiento de 230 millones de toneladas (Tg) de nutrientes removidos desde los suelos agrícolas, mientras que el consumo mundial de fertilizantes en base a N, P₂O₅ y K₂O rondaba los 130 Tg. En el caso del nitrógeno, la fijación biológica alcanzaba a los 90 Tg.

Dos modelos globales, han abordado estimaciones de balance mundial de nutrientes. Uno de ellos, conocido como NUTMON, estima las ganancias en aportes de fertilizantes, efluentes, fijación biológica de nitrógeno, deposición atmosférica y las pérdidas, medidas en las cosechas, con pérdidas gaseosas, percolación o erosión de suelos (de Jager y otros, 1998, Henao y Barraante, 1999). El otro modelo, más simplificado, propuesto por la OECD se diferencia del NUTMON en que no incorpora las emisiones gaseosas ni las pérdidas de nutrientes, pero incluye cálculos de fijación biológica hecha por leguminosas y los organismos vivos del suelo.

El balance de nutrientes a escala global difiere del abordaje realizado a nivel de establecimiento y contempla en especial las interacciones que hay entre las exportaciones y las importaciones, la producción local, las reservas del suelo y el uso de fertilizantes sintéticos.

En este movimiento hay tres factores relevantes que hacen al balance global de los nutrientes. El primero se relaciona con el impacto de las pérdidas por emisiones gaseosas, como las emisiones de óxido nitroso, que tienen un impacto significativo en el calentamiento global y generan problemas de contaminación de escala mundial.

El segundo, foco de este libro, se relaciona con los efectos de la exportación e importación mundial de nutrientes contenidos en el comercio internacional de commodities. Y el tercero, se centra en el flujo doméstico e intencional de nutrientes que fluye desde las ciudades. El primero está siendo fuertemente abordado por la bibliografía y la investigación relacionada al cambio climático, mientras que el segundo y el tercero casi comienzan más recientemente a ser foco de las discusiones mundiales, bajo la perspectiva del metabolismo social.

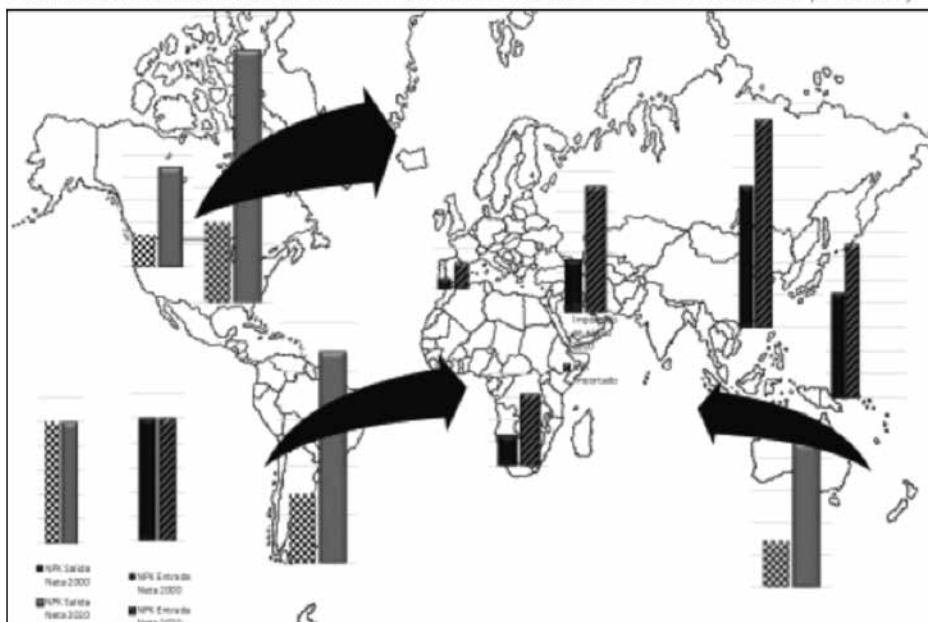
En el balance mundial, existe un desequilibrio entre países exportadores de granos e importadores, donde en los primeros la característica general es el déficit creciente de nutrientes (como tendencia), mientras que en los segundos, los efluentes y la contaminación por exceso se hacen cada vez más visibles. Por ejemplo, en el caso de la torta de soja (Daalgard y otros, 2007), hemos demostrado que por un lado se produce una importante extracción de nutrientes y cambios de uso del suelo en la Argentina, mientras que en el país importador (Dinamarca), los problemas de contaminación por nutrientes vinculados a la creciente producción de cerdos, se convierten en un problema importante. Mida (1992) enfatizó lo mismo para el Japón, quién utilizando datos de FAO resaltó las relaciones entre la salida de nutrientes y las materias primas en la década de los ochenta.

En el estudio IFPRI IMPACT, proyecciones de la producción mundial de alimentos hacia el 2020, utilizando como línea base datos de FAOSTAT de 1997, destacan la importancia creciente del flujo mundial de nitrógeno, fósforo y potasio y sus impactos en especial, en el comercio mundial.

La información agregada de los flujos netos de NPK en el comercio internacional varía ampliamente entre regiones y países (Ver Mapa siguiente).

Flujos netos de NPK en el comercio internacional

FLUJO RELATIVO DE NPK EN EL COMERCIO NETO MUNDIAL DE 1997 Y SU PROYECCIÓN AL 2020 (IMPACT Model)



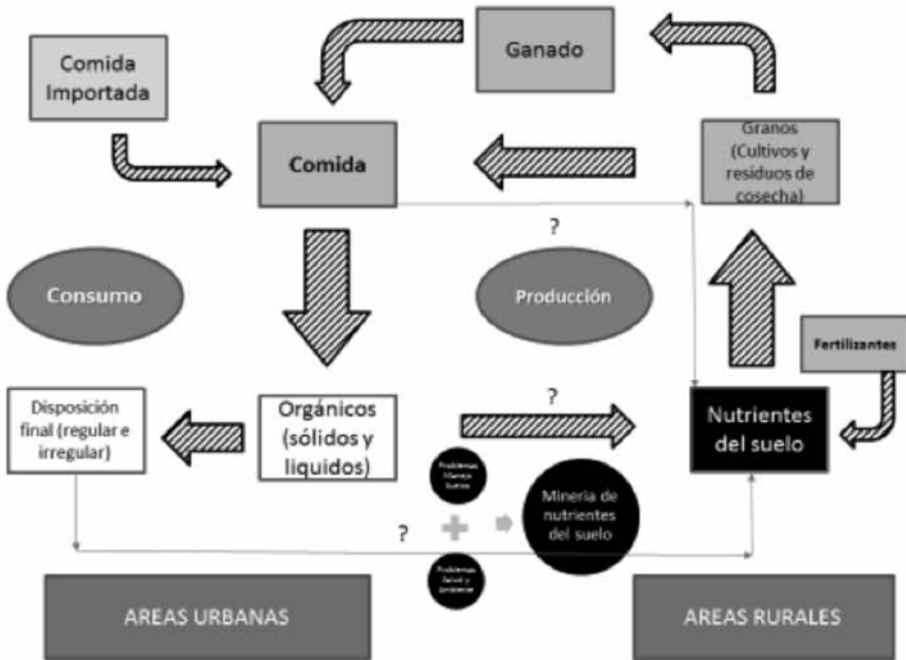
Fuente: Modificado de IMPACT Model

Los países y las regiones que muestran mayores ganancias de NPK a través de las importaciones de los commodities comercializados son los del Asia Occidental, África del Norte y China. China más que triplicará esta tendencia, pasando de 0,6 Tg a 2,2 Tg. De hecho, estas importaciones van directamente a las ciudades, donde el exceso de nutrientes está causando problemas de contaminación hídrica, acumulación de residuos y un derroche creciente de alimentos. Otros países con medianos a crecientes minerales de NPK son la Unión Europea, Japón, el Sudeste Asiático y el África subsahariana. El Sudeste Asiático incrementará su consumo de nutrientes importados en los alimentos a 0,6 Tg.

En el caso de la Unión Europea se estima que alrededor de 16.700.000 millones de toneladas de nitrógeno entran al sistema anualmente, de los cuales 10.900.000 millones son fertilizantes minerales y otros 2.7 millones ingresan como forrajes para la alimentación, mientras que los aportes externos de fósforo alcanzan 1.400.000 toneladas de fertilizantes y alrededor de 400.000 toneladas como alimento. No obstante, como puede verse, los fertilizantes minerales vienen cayendo en su consumo en los últimos 25 años y los consumos de fertilizantes fosfóricos han vuelto a los niveles de los años cincuenta. A pesar de la reducción relativa del consumo, la eficiencia de transformación sigue siendo baja y los niveles de contaminación, en especial como consecuencia de la enorme y creciente cantidad de ganado

estabulado, producen problemas complejos de contaminación, en especial con el manejo de los efluentes y los residuos del ganado en el caso europeo.

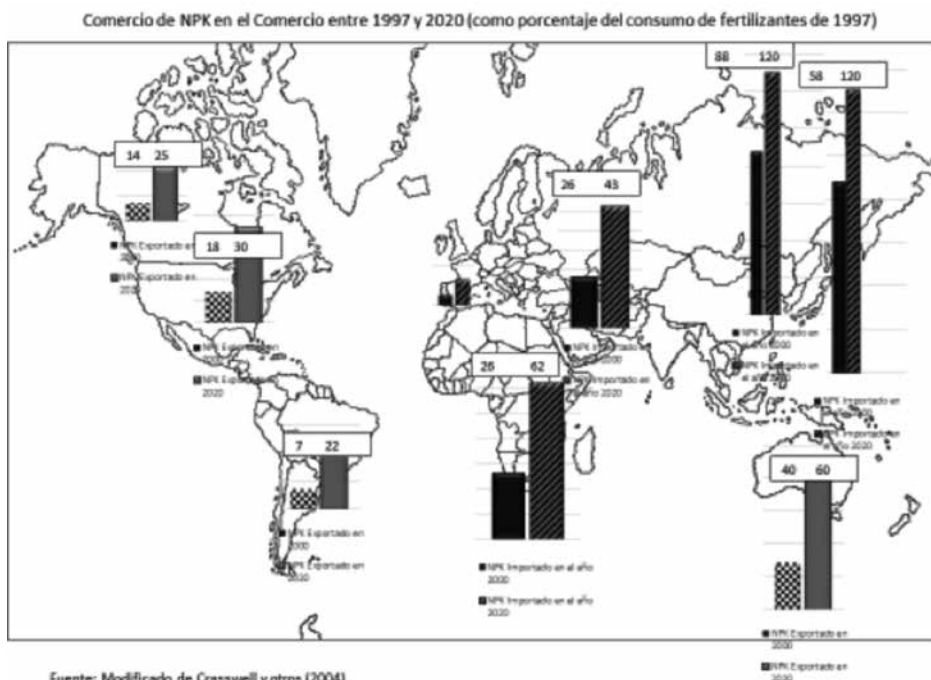
Interacciones en el flujo de nutrientes entre las áreas urbanas y rurales



Las más grandes pérdidas de nutrientes se dan en Estados Unidos, Australia, América Latina, Nueva Zelanda y Canadá, que representan los mayores países y regiones exportadores. Las proyecciones para los EE.UU. indican una extracción de 3,1 Tg en 1997 que se elevará a 4,8 en 2020.

Esto representa de por sí, el mayor flujo de nutrientes en términos de perturbación potencial del ciclo de los nutrientes en los ecosistemas.

Consumo de NPK en 1997 y proyecciones hacia 2020.



El más significativo incremento en los flujos de salida de NPK se produce en América Latina, que perdía 0,75 Tg en 1997 y llegará a perder 2 Tg en los próximos cuatro años.

La comparación del consumo de fertilizantes provee información sobre la importancia relativa del flujo de nutrientes en el comercio. El más grande exportador de nutrientes, Estados Unidos, exportaba en 1997 el equivalente al 18 % del consumo mundial de fertilizantes (ver Mapa anterior).

El peso neto de la soja en América Latina y de las pasturas con leguminosas forrajeras en Australia también es notable. Tenemos así que entre 1997 y 2020 se produce un incremento del 7 al 22 % (Mapa anterior).

Los resultados de la separación de los nutrientes N, P y K en el comercio muestran una dominancia proporcional en los movimientos de nutrientes. Las transferencias de potasio (K) son de hecho significativas y puede aprovecharse el reciclado de este nutriente en este caso, dado por el alto costo de extracción minera, transporte y logística.

La producción de granos como forraje para la ganadería cumple un rol fundamental y creciente en algunas partes del mundo, derivadas de la transformación de proteína vegetal en animal.

El cambio de las dietas globales en el pase hacia la proteína animal, la segunda ola de urbanización que lleva a millones de personas del campo a la ciudad (en especial en las economías asiáticas) y el aumento de la participación en el consumo de la clase media, presiona rápidamente por cada vez más carnes rojas, huevos y leche. En Europa, alrededor del 60 % de los granos disponibles se destinan al consumo animal, con un promedio mundial que ya llega a más del 35 % de la comida, y va a los animales primero.

Forestación

La creciente demanda de materia prima industrial ha dado lugar a una acelerada expansión de plantaciones de especies de crecimiento rápido

Extracción de nutrientes en diferentes Plantaciones Exportables

	N			P			K			Ca			Mg		
	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp
Hojas	14,8	14,3	15,2	0,55	0,86	0,53	3,8	5,47	3,4	6,34	1,69	1,46	1,84	0,75	1,04
Ramitas	6,1	5,1	6,9	0,35	0,45	0,34	3,9	2,82	2,5	8,16	1,38	2,68	1,49	0,62	0,95
Ramas Finas	3,9	3,2	4,5	0,20	0,35	0,21	2,2	2,05	1,7	3,29	0,69	2,52	0,92	0,47	0,74
Ramas Gruesas	3,5	1,8	2,7	0,18	0,22	0,11	1,7	1,46	0,9	2,21	0,55	1,48	0,78	0,40	0,59
Corteza	4,5	3,0	3,7	0,20	0,14	0,11	2,5	1,91	0,9	6,63	1,08	0,93	2,44	0,55	0,41
Madera	1,6	0,8	1,5	0,09	0,11	0,06	0,7	0,71	0,7	0,60	0,32	0,53	0,18	0,20	0,26

N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio.

Eg: *Eucalyptus globulus*, Pr: *Pinus radiata*, Pp: *Pinus pinaster*

Rodríguez-Soalleiro, R., M. Balboa, J. G. Álvarez-González, A. Merino y F. Sánchez. (2004).

Extracción de nutrientes en otras especies

ESPECIE	N	P	K	Ca	Mg
			kg ha ⁻¹		
Tectona grandis	478	91	-	680	-
Shorea robusta	339	37	-	380	-
Eucalyptus Híbrido	59	11	43	169	16
P. patula (12 años)	51	3	22	23	13
Cedrus deodara	21	1.3	32	27	805
D.sisoo (24 años)	106	6	33	198	14

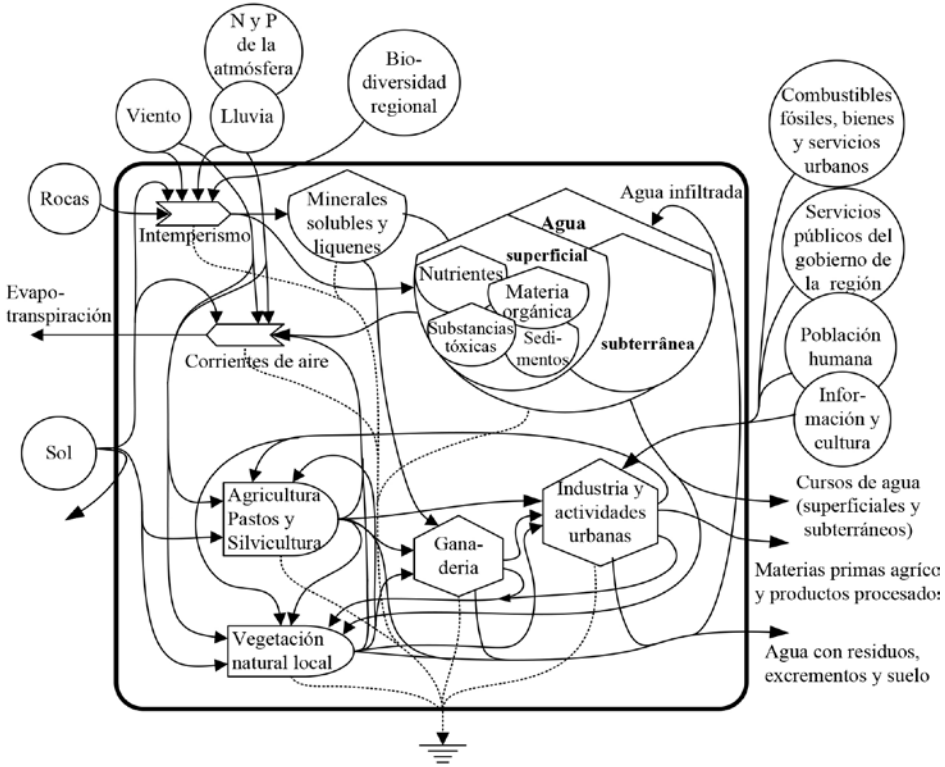
Fuente: adaptado de Sharma (2004)

Ganadería

La actividad pecuaria, está teniendo una creciente preeminencia en el flujo mundial de carnes, huevos y leche en el comercio internacional, de la mano de una intensificación industrial creciente que responde al cambio mundial de la dieta como se ha mencionado.

No obstante, existe por otro lado una crítica fuerte sobre la ganadería industrial que afecta por otro lado, la necesaria mirada que la ganadería convencional realiza como aporte a la estabilidad del ciclo de los nutrientes, en especial en lo que concierne a los sistemas de producción local, con base agroecológica. La producción de carnes, leche, huevos y otros de la ganadería convencional es un importante aporte de materiales para el suministro de nutrientes que se suman en el mismo predio (Ver Diagrama).

Integración de la agricultura y la ganadería. Flujo de materiales, energía e información en un sistema agrosilvopastoril (Ortega, E.).



El aporte en nutrientes de los distintos estiércoles de los animales vinculados a la producción agropecuaria es importante como aporte natural en la nutrición de los cultivos. Este material, estabilizado, ha sido aprovechado desde siempre por los agricultores de todo el mundo. Hoy, los estudios demuestran su importancia para el fortalecimiento de los sistemas productivos de base agroecológica.

La variación en la composición del estiércol depende de la especie animal, de su alimentación, contenido de materia seca (estado fresco o seco) y de como se le haya manejado. Para la práctica y uso en general se puede considerar que el estiércol contiene: 0,5 por ciento de nitrógeno, 0,25 por ciento de fósforo y 0,5 de potasio, es decir que una tonelada de estiércol ofrece en promedio 5 kg de nitrógeno, 2,5 kg de fósforo y 5 kg de potasio. Al estar expuesto al sol y la intemperie, el estiércol pierde en general su valor. Otra fuente de fertilización para las plantas es la orina animal, que cuando es fermentada (llamada "purín") constituye un abono líquido rico en nitrógeno y fósforo.

El guano es un precursor "histórico" de fertilizantes, que de alguna manera dio cuenta del origen de la fertilización industrial (J. von Liebig se basó en estudiarlo

profundamente). El "guano de islas" es una mezcla de excrementos de aves (guanay, piquero, alcatraz o pelícano que habitan en la costa en el Perú), plumas, restos de aves muertas y huevos de las especies que habitan el litoral, y pasa un proceso de fermentación lenta, lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales. Es uno de los abonos naturales de mejor calidad por su contenido de nutrientes, así como facilidad de asimilación, existiendo diferentes calidades: guano rico (12-11-02); guano fosfatado (1,5-15-1,5) y guano de islas común (9-11-02).

A diferencia de los fertilizantes minerales, la calidad de la bosta animal, varía en función de cuestiones que van desde el propio animal, las condiciones ambientales, la forma de colecta, su mezcla y estabilización; pero en general todas guardan importancia como un sustancial aporte de nutrientes en volumen y calidad.

Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca)

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio (K ₂ O, %)	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio (CaO, %)	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio (MgO, %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Fuente: Aso y Bustos, 1991.

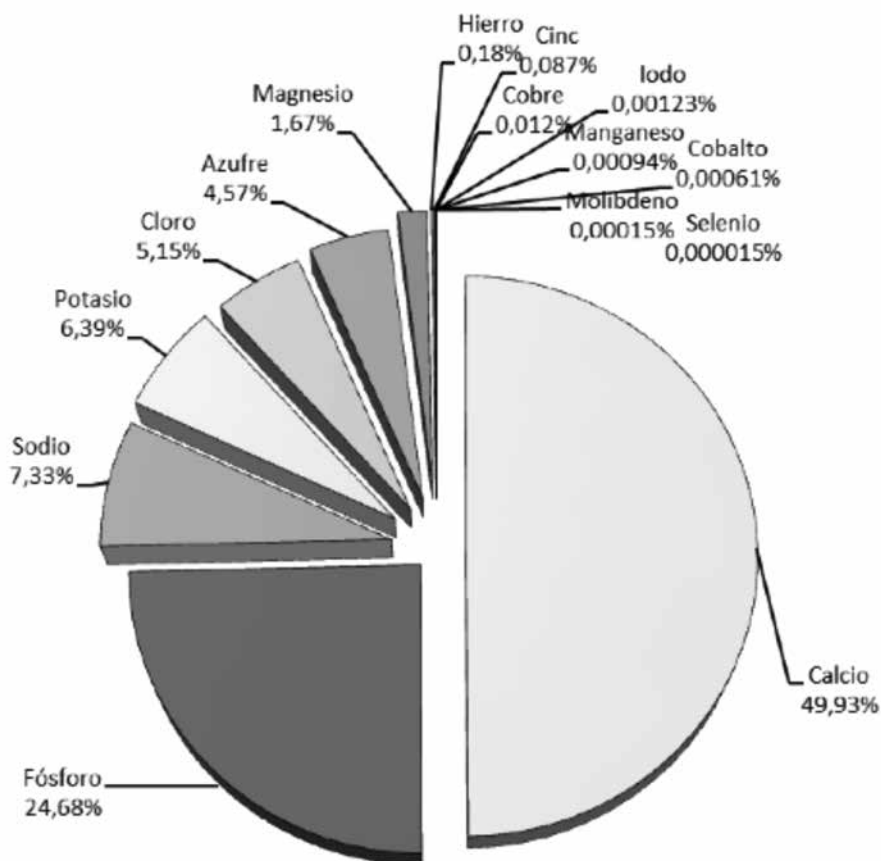
No se debe confundir esta función circular del aporte de nutrientes a escala predial y su circulación derivada de la alimentación de los animales a lo largo de todo su ciclo biológico, con los nutrientes extraídos en los materiales de exportación. Aquí, a pesar de los volúmenes cárnicos exportados, el balance hacia el consumo y la circulación a lo largo del ciclo ganadero es importante.

El problema actual derivado de esta ganaderización industrial estriba especialmente en la intensificación que se produce a través de los feedlots o los galpones industriales para la producción de aves o incluso los sistemas de lechería industrial, que suman un volumen importante. Se encuentra un concentrado de efluentes que generan contaminación en sus propios sitios de producción, en especial por exceso de nitrógeno y fósforo, afectando las napas cercanas.

En general, en la composición mineral de un bovino de 420 kg, se considera que el valor de sus cenizas es de 13,7 kg totales por animal, aportando de los principales macroelementos: Calcio 6,880 Kg., Fósforo 3,400, Sodio 1,010, Potasio 0,880 y oligo y microelementos representados por el Cloro 0,710, Azufre 0,630, Magnesio 0,230, Hierro 0,025, Zinc 0,012, Cobre 0,0016, Iodo 0,00017, Manganeseo 0,00013, Cobalto 0,000084, Molibdeno 0,000020, Selenio 0,000002 (Correa Luna 2013).

El calcio y el fósforo representan más del 75 % de los elementos minerales que componen la estructura del animal.

Composición mineral porcentual de un bovino de 420 Kg de kilo vivo (Correa Luna, INTA 2013)



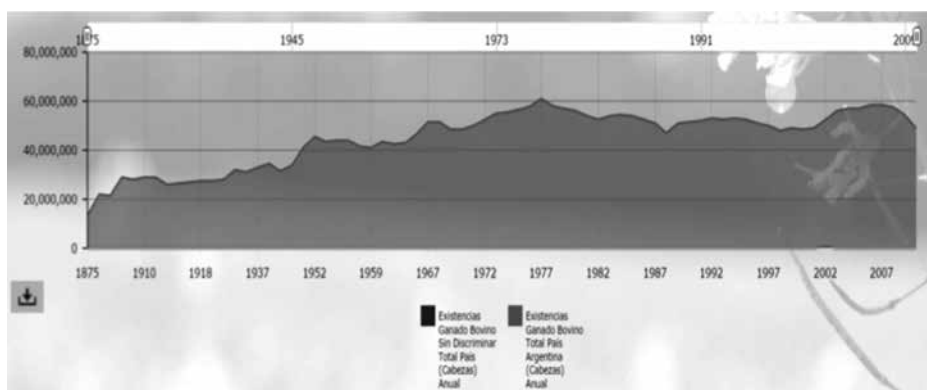
Fuente: Mufarregge, 1994 (NRC, 1996; ARC, 1980)

Extracción de nutrientes por diferentes productos pecuarios

Nutriente	Carne	Leche	Huevo con cáscara
	Gramos de nutriente por Kg de carne	Gramos de nutriente por Kg de leche	Gramos de nutriente por Kg de huevo
Nitrógeno	27,2	0,6	20,3
Fósforo	6,8	1,0	0,993
Potasio	1,5	1,2	0,670
Azufre	1,5	0,4	-
Calcio	12,8	1,1	0,038
Magnesio	0,4	0,01	0,375

En el caso de las exportaciones de carnes y leche de Argentina, el proceso ha tenido flujos importantes, derivados también del ciclo ganadero que enfrenta recurrentemente el país y que deriva, por ejemplo en estos tiempos, en una merma importante del stock ganadero. No obstante ello, las exportaciones de los principales nutrientes en carnes y leches se han contabilizado.

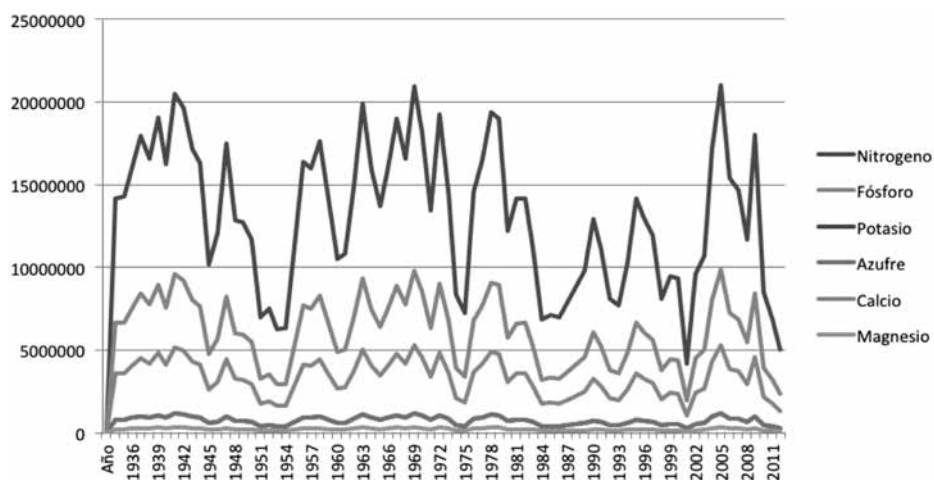
Evolución histórica de las existencias ganaderas en la Argentina



Fuente: SIIA, Ministerio de Agroindustria, Argentina

Las exportaciones de carnes de res argentinas, están muy bien tipificadas y su seguimiento se diferencia en el valor del precio internacional de los distintos cortes, cuotas asignadas y procesamiento. No obstante la exportación de carne de res con hueso alcanza volúmenes importantes, por lo que a la disponibilidad de datos en el SIIA, se han considerado las exportaciones de nutrientes en estas carnes.

Exportaciones de los principales nutrientes en las carnes argentinas Carne con hueso (1937-2012) (en kilogramos)



Además del consumo interno de carne aviar, la producción de huevos es importante en Argentina, aunque por supuesto el consumo es muchísimo más bajo que en Brasil.

Argentina muestra un mercado de exportación oscilante tanto en cuanto a huevo fresco como con cáscara o deshidratado. El huevo con cáscara exporta alrededor de unas 3.000 toneladas promedio en el último quinquenio en el país. El huevo cuenta con un conjunto de componentes nutricionales importantes, de los que en virtud de construir una información comparativa para los fines del análisis general, hemos considerado solo los principales macro y oligoelementos (Cuadro siguiente).

Extracción de los principales nutrientes en las exportaciones argentinas de huevo con cáscara (en kilogramos)

Año	Toneladas Huevos con Cáscara / Tasa de Extracción en Kg/Tn	Nitrógeno 20,3	Fósforo 0,993	Potasio 0,67	Calcio 0,038	Magnesio 0,375
2000	30,00	609	29,79	20,1	1,14	11,25
2005	2.917	59215	2897	1954	111	1094
2006	2.542	51603	2524	1703	96,596	953
2007	2.141	43462	2126	1434	81,358	803
2008	1.417	28765	1407	949	53,846	531
2009	1.486	30166	1476	996	56,468	557
2014	3.617	73425	3592	2423	137,446	1356
2015	3.981	80814	3953	2667	151,278	1493

Fuente: Elaboración propia en base a datos de FAO, CAPIA y SIIA

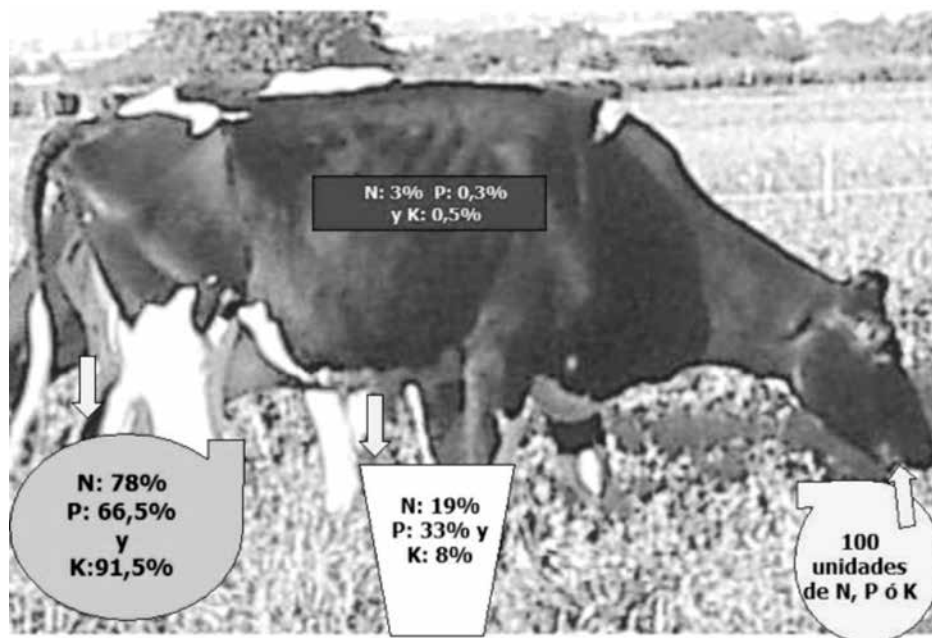
Con respecto a las exportaciones de leche, Argentina tuvo una enorme transformación en su industria láctea en los años noventa, que concentró su esquema productivo, crecientemente tecnificado en tambos más tecnologizados que respondían a las cada vez menos y exigentes usinas lácteas, en una clara posición oligopsonía.

En este sentido, la evolución de las exportaciones fue creciente pero existe en el último tiempo una creciente expansión de varias economías desarrolladas, a precio de dumping, que afectó los precios internacionales relativos y ciertamente a las economías regionales, como en el caso de Argentina, seriamente lesionada en sus precios.

En el caso de la ganadería (tanto de carne como de leche), destaca nuevamente la importancia que tiene el aporte del bosteo en los campos en los cuales este manejo se produce de manera extensiva. Un importante porcentaje de los nutrientes que ingresan al animal, vuelven al suelo con las excretas.

Cuando son sistemas pastoriles de producción, el mismo pastoreo es el método para que estas excretas restituyan a los potreros la fertilidad extraída por el crecimiento de los forrajes. De todos modos esta restitución es irregular y dependerá del manejo del pastoreo. Los nutrientes que no reingresan a las pasturas por esta vía,

Ejemplo del flujo de nutrientes dentro de una vaca lechera (Herrero, A. 2007)

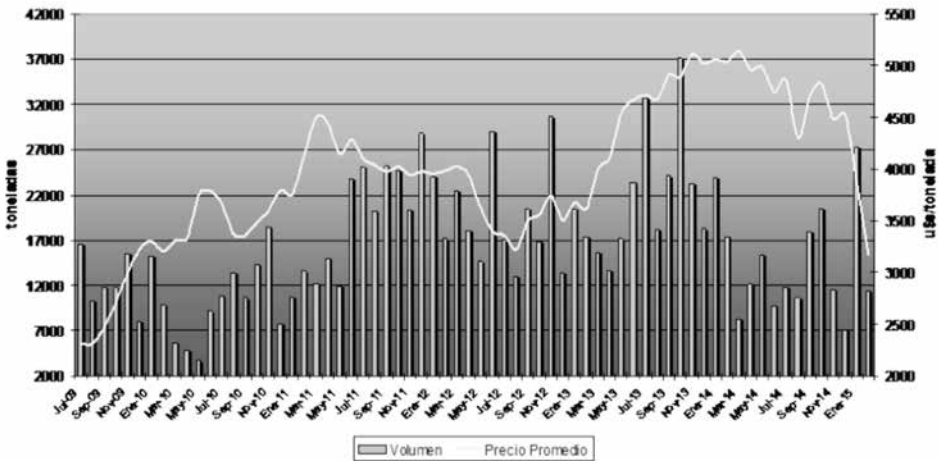


se concentrarán en áreas no productivas como instalaciones de ordeña, callejones, aguadas y corrales. En la medida en que el animal pasa una mayor cantidad de horas en corrales de alimentación, bebederos e instalaciones, mucho menor será la restitución de nutrientes a los potreros, representando un costo económico, dado que se debe entonces incrementar el ingreso de nutrientes por la vía de fertilizantes.

Las vacas en ordeña no pueden convertir todos los nutrientes ingeridos vía alimentos, en nutrientes en leche. Por ejemplo en una vaca que produce 6000 litros de leche por lactancia, se considera que de cada 100 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio que ingiera, transferirá a la leche 19%, 33% y 8% respectivamente. Esto significa que excretará al medio ambiente, una vez descontado el nutriente que queda circulando en el organismo, un % de nutrientes equivalente a un 78% de nitrógeno, 66,5% de fósforo y 91,5% de potasio.

De allí la importancia que tiene el aporte animal en el bosteo y circulación de nutrientes a campo y la diferencia que existe luego en los materiales de exportación. El aporte de nutrientes exportados en los productos (leche en polvo) se muestra reducido con respecto a los que ingresan al sistema. El problema principal que reside en estas plantas lecheras, tiene relación con la contaminación, cuando las heces de los animales están concentrados en sistemas estabulados.

Volumen declarado de exportaciones de leche en polvo entera a granel y precio promedio ponderado mensual

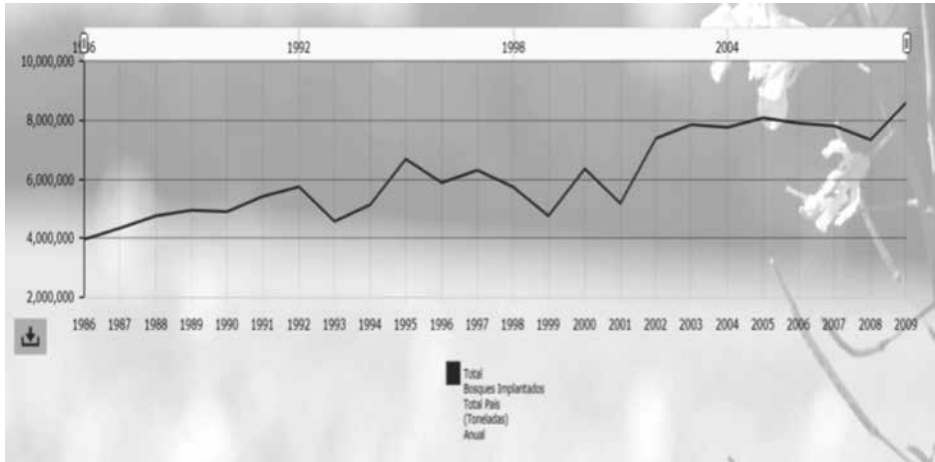


Desde finales del 2014 a la actualidad, la caída de los precios promedios afecta especialmente las exportaciones de leche en polvo desde Argentina, que promedian alrededor de las 15.000 toneladas.

Exportaciones de nutrientes en las maderas en Argentina

La industria forestal argentina tiene un desarrollo creciente, muchas veces acompañado de subsidios a la producción forestal que fueron el principal incentivo del sector por varias décadas. Ello llevó a que el país se concentrara en especial en la producción forestal para rollizos y pasta de papel, focalizado en la exportación de salicáceas y eucaliptus.

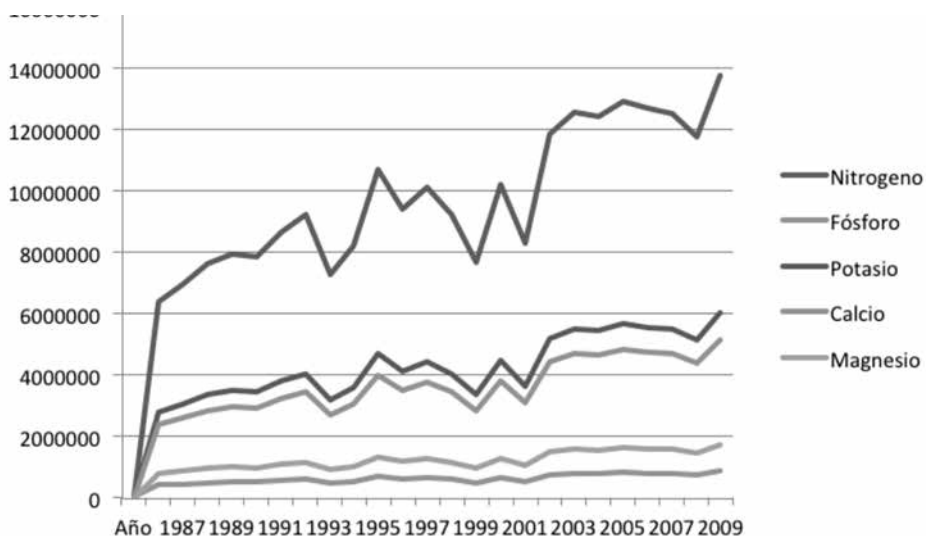
Extracción de Maderas en Bosques Implantados en la Argentina (en millones de toneladas).



En forma comparativa con la producción agrícola, la actividad forestal de exportación es mínima. Sin embargo, el creciente valor de las exportaciones, los vaivenes de la economía nacional y en especial la llegada de nuevos subsidios y exenciones a esta industria, hacen prever un aumento en especial de las exportaciones en los años venideros.

En este sentido, una actividad industrial que funciona prácticamente sin reposición natural de nutrientes, deja una necesidad de mirada para los plazos medios, acerca de lo que hoy se está extrayendo en términos de nutrientes que directamente salen con los rollizos y demás materiales exportados.

Exportaciones de los principales nutrientes en las maderas argentinas
Análisis promedio tendencial en salicáceas y eucaliptus, las principales maderas
exportadas (en Kilogramos)



Capítulo 8

Integración vertical y redes

*“Las penas son de nosotros, las vaquitas son ajenas”
Atahualpa Yupanqui*

Reprimarización, integración de cadenas y redes de exportación

La agricultura industrial (Pengue, 2005) que está en expansión en toda América Latina y crece aún más en Argentina, corroe otros procesos de producción y desplaza alternativas eficaces para el consumo local y regional, las cuales también están prácticamente amenazadas hoy.

No es casual la concreción de un Ministerio de Agroindustria en Argentina, cuando se apunta a la exportación básicamente de bienes primarios, focalizados prácticamente en los cultivos de maíz y soja, con derivados “industriales” que se concentran en la producción de biocombustibles (de gran escala).

La impronta de los grupos corporativos que concentran sus intereses en la exportación de primarios, se observa claramente en la concretización de este Ministerio de Agroindustria, que esconde la potenciación real de la agricultura industrial.

Actualmente, la discusión sobre la pérdida de la soberanía alimentaria y el acceso a una dieta suficiente y equilibrada evidencia el peligro para las economías agrarias de países como Argentina, que en vez de concentrarse en el monocultivo de soja, podría duplicar fácilmente su producción diversificada,. Este monocultivo actualmente da cuenta del 50 % de la producción de cereales, y ha desplazado otros productos como la leche, ganado, frutas, verduras y cereales; y prácticamente los pone en riesgo de desaparecer.

Otro problema relacionado con el precio de los alimentos es que si los precios del producto siguen elevándose (maíz, soja, y muchos otros), las industrias competirán para obtenerlos (como es ya el caso de las agroindustrias de alimentos y energía) dejando finalmente a gran parte de la población sin acceso a los alimentos.

Además, los modelos intensivos de producción agrícola han aplastado los modelos de la agricultura familiar (Pengue, 2008), que eran los que producían una variedad más grande de productos dirigidos al rápido consumo de la población local. Debemos recordar que la agricultura familiar campesina produce más del 50% de los alimentos en América Latina.

Stand del flamante Ministerio de Agroindustria de la Argentina en la exposición más importante de la agricultura industrial (2016). Su lema: "Agregado de Valor + Biotecnología + Desarrollo" (Pengue, 2016).



Hay un límite de tierra disponible (Pengue, 2008), y ningún aumento de la productividad de las cosechas puede cambiar este hecho. Hay una seria desigualdad entre un destino y otro, y esto debe revisarse de una manera integral más que parcialmente.

H. T. Odum y E. Odum lo declararon claramente, diciendo que el mundo no puede seguir cultivando, consumiendo energía, y dependiendo de este modelo (Odum & Odum, 2001). Nicholas Georgescu Roegen, el padre de los economistas ecológicos, declaró (de una forma que nos hizo entender la importancia de la energía en el sistema alimentario) que *no hay comida gratis, eso simplemente no existe*.

Y es así que en Argentina se está dando un proceso de reprimarización de la economía en la que se crea una cadena de relaciones que apuntan exclusivamente a la exportación de materias primas.

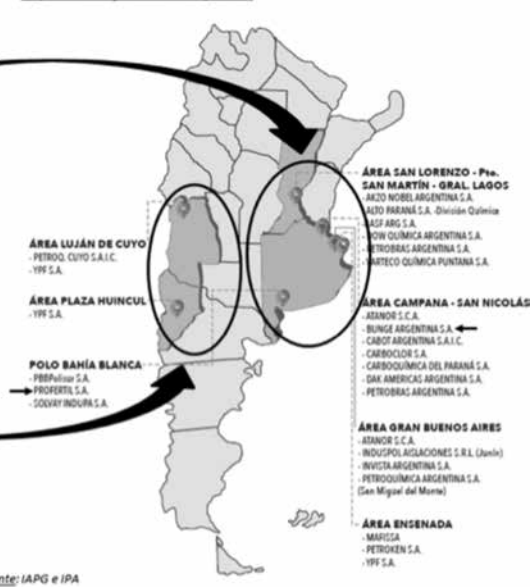
La promovida "agroindustria"² y el "valor agregado" apuntan a integrar una red de producciones y servicios que serian los facilitadores de un incremento de la balanza exportable del país, sostenida en la salida de sus materias primas.

2 Actualmente (2016) como decíamos se ha creado en Argentina el Ministerio de Agroindustria, cuyos fines a la luz del modelo producción del país, es afianzar las cadenas agroindustriales existentes, que apuntan casi exclusivamente a la exportación, bajo el argumento de la justificación de un valor agregado. Siendo esto necesario, no se contempla correctamente en los productos que se ofrecen, de forma masiva, en la comercialización internacional: granos, aceites, harinas, bioenergéticos, biomateriales.

Áreas principales de la Actividad Petrolera



Mapa de Áreas y Plantas Petroquímicas



Fuente: PICT 1636 – Transformaciones Metabólicas en la Cuenca del Plata (C.De Haro).

Por ejemplo en esta agroindustria integrada, se consolidarían en red la petroquímica (fertilizantes), la minería (fertilizantes), la logística (caminos y puertos) y la producción, en un conjunto de actividades que apuntan a dar servicios y productos que permitan incrementar la productividad física de la producción agropecuaria y su salida. Así las cuencas petroleras se convierten en proveedores de la industria petroquímica ubicada en el polo de Bahía Blanca, Ensenada, La Plata y otros, que producen fertilizantes sintéticos o precursores como el amoníaco, la urea, el nitrato de amonio, etc.

La llegada de nuevas inversiones como las que se están realizando con Bunge, Profértil, YPF y últimamente los capitales comprometidos por Dow (2016) con destino al polo petroquímico de Bahía Blanca (Buenos Aires), se proyectan en las expectativas y escenarios de aumento de la producción de granos que demandan crecientes aportes de fertilizantes y agroquímicos.

Las expectativas de mayores consumos en maíz, trigo y soja muestran una demanda creciente de fertilizantes para los que la agroindustria se está preparando y una relación donde el análisis C/N se orienta un poco más hacia el maíz, quizás no tanto por una necesaria recomendación agronómica por los balances sino por una mejora en los precios relativos del primero sobre la soja.

En el año 2014 el consumo de fertilizantes en la Argentina fue de 3,1 millones de toneladas, reduciéndose a 2,5 millones en 2014, con un mercado que gastó

en fertilizantes alrededor de 1.200 millones de dólares. Se gastaron en total en pesticidas (herbicidas, fungicidas e insecticidas) unos 3.000 millones de dólares. Todos los años los herbicidas siguen siendo la estrella de este consumo, con más del 70 % del total de agrotóxicos, hoy potenciado todo esto porque cada año se presentan nuevos problemas por la aparición sin precedentes de nuevas malezas resistentes a los herbicidas utilizados.

En 2016 con una proyección de la superficie triguera creciente como hemos mencionado, que podría aumentar a más de 5.500.000 hectáreas en tanto que la de maíz tendría un incremento en la siembra de casi el 30 %, la carga en el consumo de fertilizantes y agroquímicos aumentará más, dado que son cultivos que dependen y "dan respuesta" a las tecnologías de insumos. Como dicen en el campo, "*son cultivos que comen mucho*".

El lobby de los agroquímicos y fertilizantes (CIAFA, AAPRESID y otros) está promoviendo fuertemente la promulgación de la llamada Ley de Mejora de Suelos (2016) que ya cuenta con media sanción en la Cámara de Diputados., Este proyecto impulsa especialmente el consumo de fertilizantes sintéticos e incluye hasta subsidios del Estado para tales fines. La ley anterior de Conservación de Suelos, N° 22.428 (sancionada en 1978 y derogada en los noventa), proponía entre otros, principalmente "prácticas de manejo y conservación", junto a la sistematización de los campos. En ninguno de los dos casos, se plantea la sustentabilidad real del recurso suelo en el largo plazo, en tanto, no se incorporan ni valoran las externalidades negativas futuras de la intensificación en la fertilización sintética que se promociona desde empresas, ministerios y hasta instituciones técnicas como el propio INTA, o privadas como AAPRESID o AACREA.

A esta potenciación del consumo local, se suma la coyuntura global, en la que las relaciones oferta/demanda existentes ya, llevan a la baja de los precios de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados como así también, los precios del glifosato, el 2,4D, la atrazina y también el clorpirifós, lo que redundaría en un mayor consumo de estos en el plano local.

La aparición en Argentina de cada vez más malezas resistentes en especial al glifosato, está dando cuenta también de un cambio en la matriz de consumo del herbicida y su reorientación hacia nuevas y también antiguas moléculas sintéticas. No hay una disminución en el consumo de herbicidas, sino más bien hay un espectro de consumo más diversificado de principios activos. En el año 2010 el glifosato representaba el 65 % de todas las moléculas consumidas, mientras que en el año 2014, del 70 % de los agroquímicos consumidos que son herbicidas, alcanzaba al 54 %, en tanto que el 46 % no pertenecía a la familia de las glicinas (base del glifosato). En la búsqueda de nuevos principios de acción y para retrasar la aparición de nuevas resistencias, las empresas promueven además de lo ya conocido (glifosato), los herbicidas hormonales, los PPO y los ACCase, muchos de los cuales siguen siendo

productos importados. Pese a ello el glifosato tuvo y aún tiene fuerte preeminencia como control de malezas en el paquete tecnológico cultivo + herbicida + siembra directa, tanto en el NOA como en la región pampeana.

Stand de promoción de glifosato en Expoagro (2016) y Cartelería en campos del norte argentino (2013) (Pengue, 2016 y 2013).



Subsectores de la industria química/petroquímica con relevancia en la dependencia en la energía eléctrica y en las materias primas petroquímicas.

		Subsectores/Productos característicos	Dependencia	
			Energía Eléctrica	Gas Natural / Petroquímicos Básicos
Petroquímicos	Básicos	Productos químicos a partir de gas natural y sus derivados y productos de la destilación de petróleo; producción de aromáticos como el benceno, tolueno y xileno; producción de alkenos y olefinas como el etileno, butileno, propileno, estireno, etcétera	Media	Alta
	Intermedios	Alcoholes, aldehídos y cetonas, como por ejemplo: alcoholes metílico o metanol, isopropanol, acetona, formaldehído o formol, etcétera; ácidos y anhídridos orgánicos: anhídridos maleico, ftálico, ácido tartárico y acético, etcétera; fenoles y feno-alcoholes; compuestos de función amina como por ejemplo anilinas, metilamina, etcétera	Media	Alta
	Polímeros y caucho sintético	Plásticos en formas primarias: polietileno; copolímeros de etileno, acetato de vinilo y otros polímeros de etileno; polipropileno; poliéstereno; SAN - copolímero de estireno acrilonitrilo; ABS - copolímero de acrilonitrilo-butadieno - estireno-; polímeros de cloruro de vinilo - PVC-; etc.; fabricación de resinas plásticas y sustancias plastificantes en formas primarias: fenólicas, baquelita, alquídica, ureica, de petróleo, poliéster, vinílica, acrílica, etc.; producción de siliconas; fabricación de polímeros naturales - por ejemplo, ácido alginico-, y polímeros naturales modificados, tales como proteínas endurecidas; elaboración de éteres de celulosa, y otros compuestos derivados de la celulosa; fabricación de caucho sintético y de sucedáneos de caucho a partir de aceites, en formas primarias; y producción de mezclas de caucho sintético y caucho natural y de gomas similares al caucho	Alta	Alta
	Fibras sintéticas	Polímeros obtenidos por policondensación o poliadición: hilados poliamídicos: producidos a partir de nylon 6.6; nylon 6; hilados poliésteres: son los hilados fabricados a partir del tereftalato de dimetilo - DMT y el etilenglicol; hilados poliuretánicos: donde la materia prima es el butanodiol y el hexametildisocianato polímeros por polimerización: hilados de polipropileno: producidos a base de propileno; hilados acrílicos	Media	Alta
	Fertilizantes	Fabricación de abonos nitrogenados, fosfatados y potásicos puros, mixtos, compuestos y complejos fertilizantes orgánicos e inorgánicos; fabricación de urea; fabricación de productos de la industria de abonos nitrogenados: ácido nítrico, amoníaco, cloruro de amonio comercial y nitratos de potasio y sodio.	Media	Alta



Es así que son varias las plantas petroquímicas que se concentran en la producción de urea como las de Bunge Argentina y Profértil S.A. Actualmente la capacidad instalada de Bunge Argentina, localizada en Campana (Buenos Aires) alcanza las 212 Kt y la de Profértil, la más grande del país, los 1.400 Kt.

Áreas Petroquímicas y Complejos Productivos

Argentina cuenta con siete áreas químicas-petroquímicas que se abren a 22 complejos productivos que conforman más del 90 % de la capacidad petroquímica del país. Se observa la creciente participación de las plantas vinculadas a la producción de fertilizantes sintéticos en especial, Profertil y Bunge.

Plantas Petroquímicas y Áreas de Producción en la Argentina

Empresa	Ubicación	Producción	Capacidad Instalada (kt)	Materia Prima
Bunge Argentina SA	Campana (BA)	Amoniaco	135	Gas Natural
Profertil SA	Bahía Blanca (BA)	Amoniaco	750	Gas Natural
Solvay Indupa SAIC	Bahía Blanca (BA)	Cloruro de Vinilo	231	Etileno y Cloro
Petrobras Arg. SA	Pto Gral. San Martín (SF)	Estireno	160	Etilbenceno
PBB Polisur SA	Bahía Blanca (BA)	Etileno	700	Etano
Petrobras Arg. SA	San Lorenzo Pto Gral. San Martín (SF)	Etileno	52	Nafta / Propano
Alto Paraná SA	Pto Gral. San Martín (SF)	Metanol	50	Gas Natural
YPF SA	Plaza Huincul (NQ)	Metanol	400	Gas Natural
Solvay Indupa SAIC	Bahía Blanca (BA)	Polidoruro de Vinilo y Copolímeros	230	Cloruro de Vinilo
Petrobras Arg. SA	Zárate (BA)	Poliestireno (conv. y alto impacto)	66	Estireno
Aislaciones SRL	Junín (BA)	Poliestireno Expandible	1,4	Estireno
Aislante de Cuyo SA	Godoy Cruz (MZ)	Poliestireno Expandible	1,2	Poliestireno
Basf Arg. SA	Gral. Lagos (SF)	Poliestireno Expandible	16,5	Estireno
PBB Polisur SA	Bahía Blanca (BA)	Poliétileno de Alta Densidad	270	Etileno
PBB Polisur SA	Bahía Blanca (BA)	Poliétileno de Baja Densidad Conv.	90	Etileno
PBB Polisur SA	Bahía Blanca (BA)	Poliétileno de Baja Densidad Lineal	300	Etileno
Petroken SA	Ensenada (BA)	Polipropileno	180	Propileno
Petroquímica Cuyo SAIC	Lujan de Cuyo (MZ)	Polipropileno	130	Propileno
Dak Américas Arg. SA	Zárate (BA)	Poliuretano de Etileno (PET) (Envase)	187	Ac. Tereftálico y Etilenglicol
MAFISSA SA	Olmos (BA)	Poliuretano de Etileno (PET) (Textil)	68	Ac. Tereftálico y Etilenglicol
Bunge Arg	Campana (BA)	Urea/Fert.	212	Gas Natural, Amoniaco y Anh. Carbónico
Profertil SA	Bahía Blanca (BA)	Urea/Fert.	1400	Gas Natural, Amoniaco y Anh. Carbónico

Fuente: PICT 1636 – Informe Integración (C. De Haro).

Las plantas de almacenaje de Profértil se ubican en el cluster productivo sojero más grande del mundo, en la región de Rosafe (Rosario-Santa Fe), en el puerto de General San Martín. Esta es también una de las áreas de recepción y exportación de soja, con una capacidad de almacenaje de más de 200.000 toneladas de fertilizantes sólidos. Tanto desde allí como desde San Nicolás, se distribuyen hacia el corazón de la planicie chacopampena en una eficiente red de distribuidores. Son provistos de manera permanente desde sus centros de producción de urea granulada en Bahía Blanca, con una capacidad de producción que ya supera el 1.250.000 toneladas (2016) de urea granulada.

Los centros de producción, distribución y almacenaje de urea granulada y fertilizantes sólidos (Empresa Profértil)



Fuente: PICT 1636 – Informe Integración (C. De Haro).

Por otro lado, una segunda gran empresa proveedora de fertilizantes es Bunge Argentina que produce fertilizantes nitrogenados, fosfatados, potásicos y azufrados, en una gran diversidad de combinaciones.

Además de la gran escala y los fertilizantes convencionales, tanto en Brasil como en Argentina, Bunge se está abocando al negocio de los fertilizantes "a medida". Actualmente esta práctica es aún incipiente y vista como algo sofisticado para el común de los productores, pero a la luz de la mirada sobre el negocio agropecuario, en términos de una agricultura por ambientes y la resolución de problemas agronómicos a escala de la microparcela, cada día estos procesos y productos serán primero impulsados en la creación de estas nuevas demandas, generación del mercado y satisfacción de estos nuevos requisitos en la mirada de una agronomía de la intensificación tecnodependiente.

En el complejo industrial de Ramallo, en el norte de la provincia de Buenos Aires, colindando con Santa Fe, la planta de Bunge produce superfostato simple de calcio. Cuenta con un muelle propio de carga y descarga de fertilizantes y materias primas de 1.000 toneladas por hora y una capacidad de almacenaje de más de 250.000 toneladas para fertilizantes sólidos y 20.000 líquidos.

Más al sur, en Campana, produce 370 toneladas diarias de amoniaco, 580 toneladas diarias de urea perlada, casi 500.000 toneladas anuales de UAN (nitrato de amonio líquido), 135.000 toneladas anuales de tiosulfato de amonio (TSA) y también combinaciones de otros nutrientes con NPS y micronutrientes como el zinc y el boro (B). Bunge también tiene otros complejos industriales en Bahía Blanca, Quequén y varias ciudades del cluster sojero como Santa Fe, Rosario o San Lorenzo. También irradian hacia el norte argentino con plantas de distribución en Córdoba, Tucumán y Salta.

Un nuevo actor, que si bien se originó en los años noventa, recién ahora comienza a tallar con fuerza en el mercado de los fertilizantes, es Nidera Semillas. La principal marca de difusión de los cultivos transgénicos en la Argentina, comienza en esta nueva etapa de intensificación agropecuaria un proceso de integración en su cadena de un sector clave: los fertilizantes y los agroquímicos. Aprovechando una aceitada cadena de distribuidores de semillas, las plantas de Nidera se preparan para proveer al mercado no sólo de soja, sino de maíz, trigo y pasturas.

Nidera cuenta con dos muelles de descarga de fertilizantes en sus instalaciones de Puerto General San Martín, provincia de Santa Fe. La obra se encuadra dentro de un plan de inversiones por cien millones de dólares, que incluyen la ampliación de su capacidad de procesamiento industrial así como la construcción de una terminal de última generación para el manejo de fertilizantes.

Los trabajos son complementarios con la construcción de dos celdas de almacenaje para 140.000 toneladas de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y

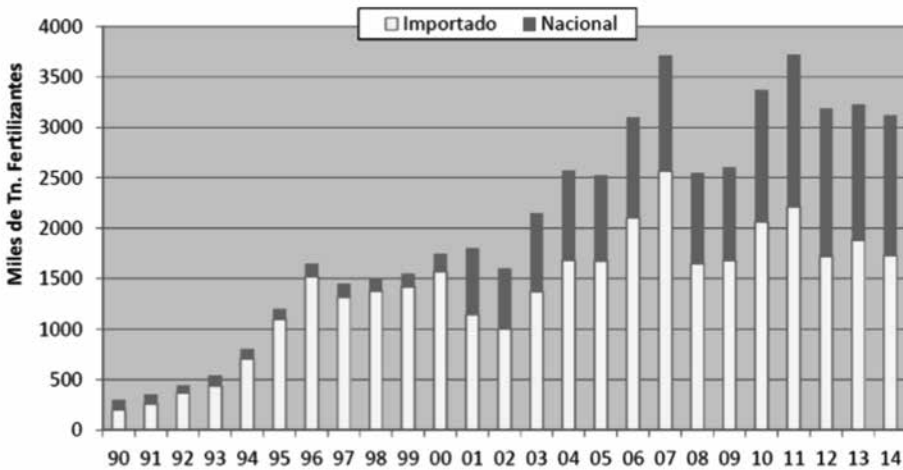
potásicos aledaños a la planta de producción de aceites vegetales cuya duplicación de capacidad de molienda ya se encuentra en plena ejecución. El puerto facilita una capacidad de descargar fertilizantes y barcasas de cereales y oleaginosas, así como también podrá cargar aceites crudos y biocombustibles. La empresa impulsa así no sólo la duplicación de su capacidad de molienda de semillas oleaginosas sino también la construcción de un muelle corrido y portante de 120 metros por 15 m. El muelle está diseñado para descargar fertilizantes, desde buques Panamax hasta barcasas de granos provenientes del Paraná Superior, a razón de un ritmo de 1.200 toneladas por hora.

En tierra, las obras se completan con dos celdas de fertilizantes de 75.000 toneladas de capacidad. Cada una completa un almacenaje de nutrientes sólidos de hasta 140.000 toneladas. Asimismo, en el futuro cercano se prevé dotar al complejo de una capacidad de 20.000 toneladas de almacenaje de líquidos en tanques para el manejo de fertilizantes líquidos.

Este nuevo puerto de Nidera en San Martín (Santa Fe) permite por ejemplo, cargar hasta 800 toneladas de aceite vegetal por hora y descargar otras 1.200 toneladas de fertilizantes. La terminal está en condiciones de almacenar 67 mil toneladas de fertilizantes sólidos y cargar diariamente un total de 120 camiones a granel, 25 camiones con productos embolsados y 15 con mezclas físicas de distintos nutrientes.

Este nuevo flujo de materiales, se sustenta también en la llegada de barcos que antes “entraban vacíos” en los puertos de Argentina y hoy llegan llenos de fertilizantes importados, y vuelven con granos, harinas o biocombustibles, cerrando costos de destino y distancia mucho más eficientemente para las compañías navieras globales.

Evolución del Consumo de Fertilizantes en la Argentina.



Fuente: CIAFA, Argentina, 2014.

Es así que el consumo de fertilizantes en la Argentina presenta un balance en promedio del cincuenta por ciento de producción nacional y otro tanto importado, con una tendencia a producir cada vez más productos en el territorio argentino.

En el marco del comercio internacional de fertilizantes es claro igualmente que el flujo de los principales fertilizantes es "hacia" la Argentina y no al revés. De 3.880.495 entre fertilizantes consumidos en el agro argentino, el país solo exportó 116.304 toneladas, siendo lo demás consumido internamente.

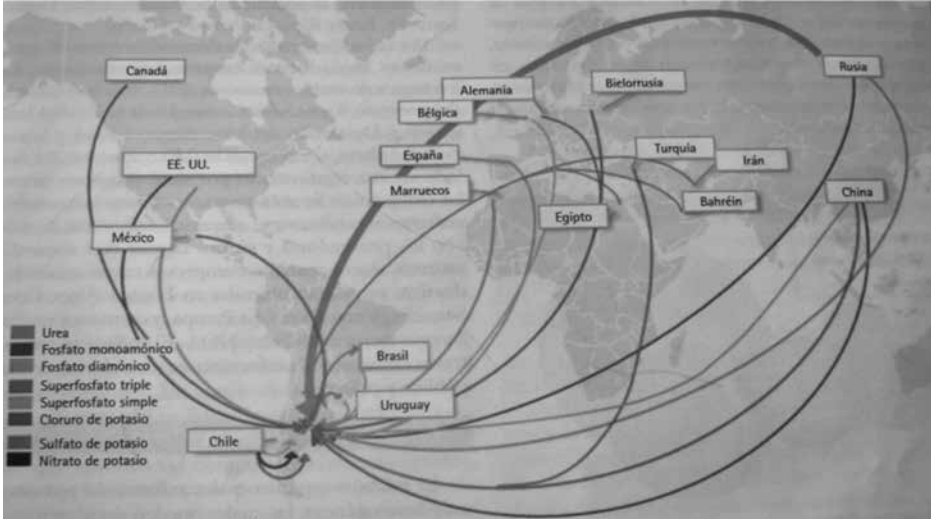
Consumo de fertilizantes en el agro argentino en 2014.

	FOSFATADOS	NITROGENADOS	OTROS	TOTAL
Stock Inicial	204.909	190.074	52.202	447.185
Importaciones	1.124.111	667.183	135.316	1.926.610
Producción Local	342.000	1.079.700	85.000	1.506.700
Oferta al Mercado	1.671.020	1.936.957	272.518	3.880.495
Exportaciones	52.713	63.000	591	116.304
Producción Fertilizantes y Otros Destinos	18.000	166.667	15.000	199.667
Stock Final	229.694	168.877	44.315	442.886
Consumo Agropecuario	1.370.613	1.538.413	212.612	3.121.638

En Tn de Producto.

De esta forma, la principal fuente de urea de Argentina sigue siendo Rusia, mientras que el superfosfato proviene de Marruecos o China y el potasio de Canadá o Chile.

Flujo del Comercio Internacional de Fertilizantes: Mundo - Argentina



Fuente: Elaboración propia en base de datos de Global Fertilizer Trade Map, Casafe y ANFEE.

Luego en Argentina, por supuesto, el principal centro de llegada de los fertilizantes se localiza en el cluster productivo de Rosario-Santa Fe con centro principal en la zona de San Lorenzo-Puerto San Martín y Ramallo San Nicolás. En Rosario se concentra sobre la zona portuaria de Gobernador Gálvez, Punta Alvear, General Lagos y Arroyo Seco.

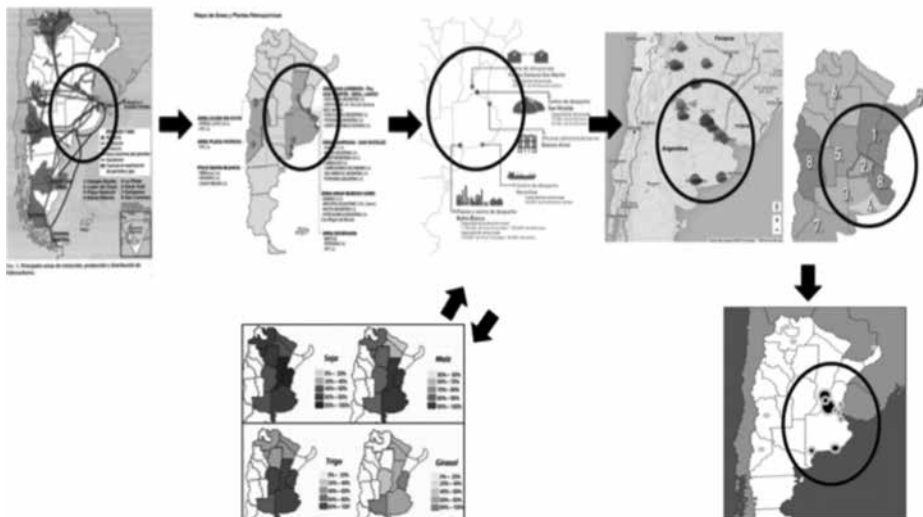
Terminales portuarias en los alrededores de Rosario.



Fuente: Taller Ecologista de Rosario

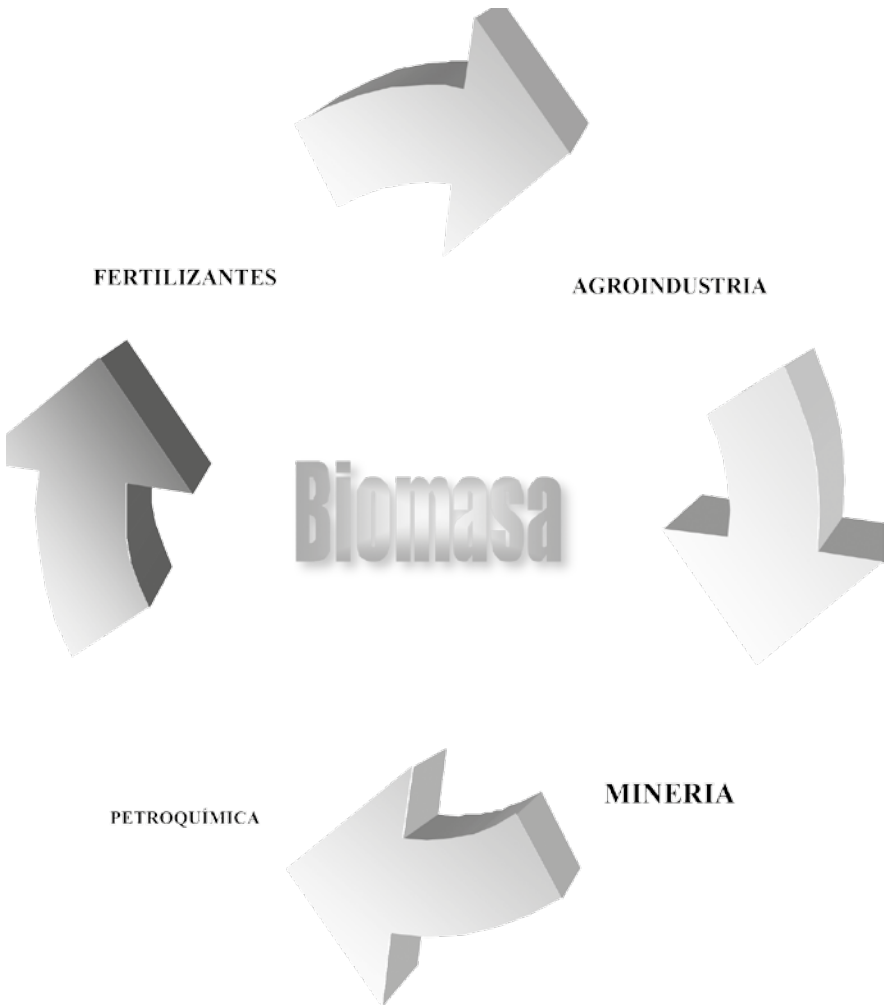
La vinculación con las zonas de producción de cultivos y consumo de fertilizantes es notable y trasunta en especial en las ecorregiones Pampa y Chaco, como decíamos, en especial en el centro de lo que se conocía como la zona núcleo maicera, hace años devenida en sojera.

Principales destinos de importación de fertilizantes y su relación con las zonas de acopio, logística y consumo en la Argentina.



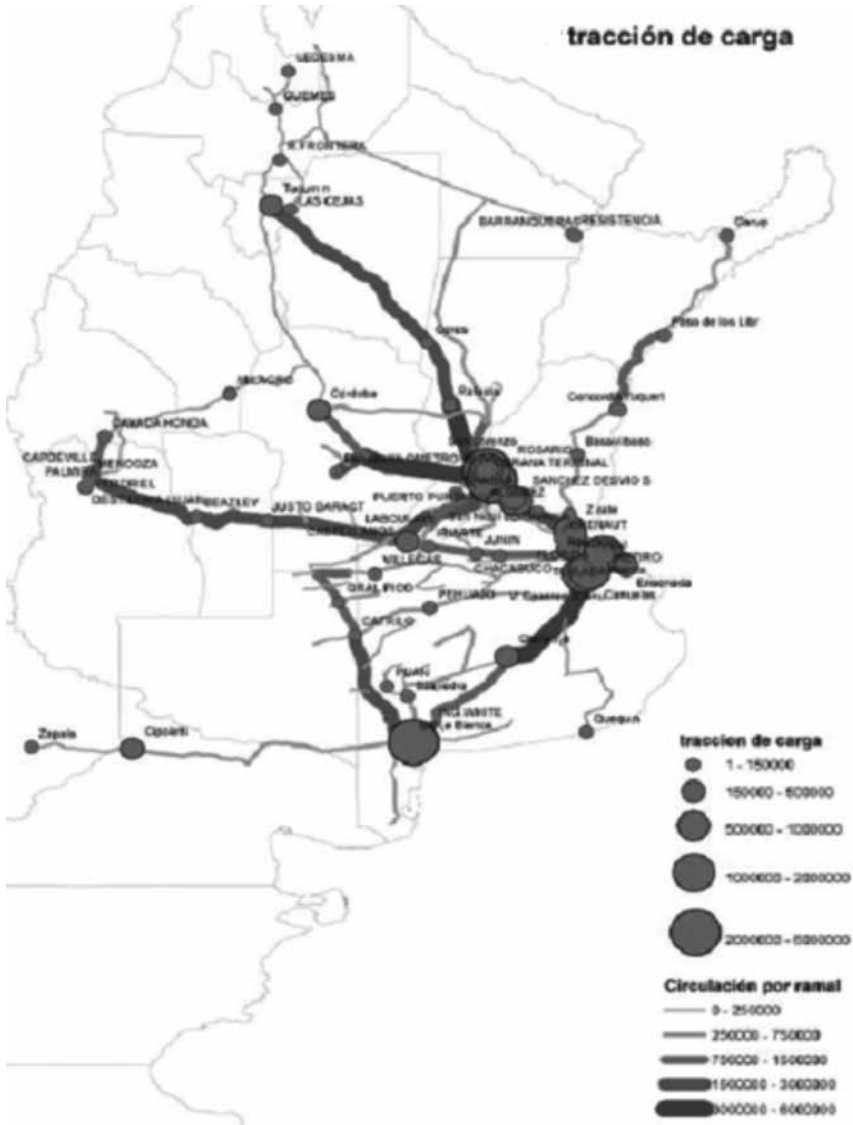
Fuente: PICT 1636 – Informe Integración (C. De Haro).

De esta manera, y de forma cada vez más creciente, se integran las actividades industriales de las empresas mineras, de la energía (petroquímica) y de la agricultura industria. Se genera así una red territorial que fortalece la expansión de un gigantismo agrícola que hace uso de los recursos de base y territoriales con una mayor eficiencia en la apropiación privada de los beneficios pero transfiere los costos, convertidos en externalidades ambientales, a toda la sociedad. La economía de escala en términos de eficiencia de transformación y luego productiva, comienza a crecer a partir de los últimos años nuevamente en la Argentina, fortaleciendo un modelo extractivista, ahora más integrado con distintas industrias relacionadas. El "valor agregado" en la actividad parece concentrarse en esta única mirada, en los grandes números de la economía.



A esta transformación, se agrega la logística de transporte que mueve materiales a lo largo de todo el territorio, en especial en el eje del corazón agroproductivo que puede verse en la tracción de cargas que mueve el proceso.

Tracción de carga en zona de ROSAFE y Buenos Aires



Fuente: PICT 1636 – Transformaciones metabólicas en la Cuenca del Plata (Fernández, L, 2013).

Aparentemente, la apuesta a la producción sojera en especial, seguirá sosteniéndose en los próximos años, a pesar de la merma de su precio en los mercados internacionales. De esta forma el negocio de las semillas, vinculado con más fuerza con todo el paquete tecnológico ahora de manera más integrada, encuentra a antiguos jugadores como Nidera, al más reciente Don Mario o incluye la llegada de grandes jugadores globales de los agroquímicos como Bayer. Estas empresas encuentran en el mercado sojero argentino y regional un enorme espacio de expansión de negocios..

Parcelas demostrativas de Nidera Semillas en Expoagro 2016 (Pengue 2016)



Stand de Credez Bayer en Expoagro 2016 (Pengue 2016)



Parcela demostrativa de Credenz Bayer en Expoagro (Penguin 2016)



Conclusiones

*“Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla
mientras el género humano no la escucha.”*
Victor Hugo

La globalización del sistema mundial de alimentos (y biomasa en general), está conllevando a una sobreexplotación importante de recursos y a una aceleración de los ciclos productivos en términos no sustentables, que genera pasivos ambientales y sociales crecientes.

Cuando los cultivos y materiales apuntan a la exportación y siguen los lineamientos específicos de los mercados globales, se vinculan al concepto de *cashcrops*, es decir, cultivos de caja, que dependiendo del precio internacional, resuelven o no situaciones coyunturales, pero por otro lado, se alejan de la seguridad y soberanía alimentarias de un país determinado.

Los mercados globales están ejerciendo una fuerte tracción sobre los recursos de base como el suelo, en respuesta especialmente a los siguientes cambios mundiales:

- Los cambios de hábitos alimenticios y el pase desde la proteína vegetal a animal (que hemos dado en llamar la “Batalla por la proteína”: se lucha en general, por “más carne, más huevos, más leche”).
- El cambio de un modelo “pensado” para la producción de alimentos a otro que apuesta a la producción de biomasa, con distintos destinos: agroindustria, agrocombustibles, biomateriales. Y su uso, en otra industria en función de los precios relativos de las commodities y del precio final del producto en el mercado en un momento determinado.
- La segunda ola de urbanización, en especial en Asia y África, con millones de personas migrando del campo a la ciudad.
- El aumento de los niveles de ingreso de las clases medias globales.
- Respecto de los recursos del suelo, todos estos procesos generan dos cambios rotundos:
 - Un importante cambio en el uso del suelo (extensión).
 - Una intensificación importante en cuanto a las tareas de utilización del suelo (agriculturización), que genera a su vez tres procesos:
 - Extracción y pérdida notable de nutrientes
 - Lavado y erosión de nutrientes (por percolación)

- Aumento de la contaminación química al incrementarse el uso de fertilizantes y agrotóxicos.

El hecho generado por la sobreexplotación de recursos del suelo, pone en riesgo real no sólo la soberanía y la seguridad alimentaria de un pueblo y país, sino constituye un atentado contra la estabilidad de la sociedad planetaria, al amenazar las formas y fuentes de alimento, creando a la vez un círculo vicioso de dependencia tecnológica y de aumento de uso de fertilizantes, que nos aleja cada vez más de la sustentabilidad.

En términos ecológicos, no se están considerando las externalidades de la intensificación del modelo agroenergético. La pérdida de la biodiversidad en el norte de Argentina, la deforestación y la degradación de los servicios ambientales son los problemas principales. La economía ecológica se enfoca en los estudios sobre la transformación de los indicadores biofísicos. La exportación de suelo virtual y la reducción de nutrientes es un nuevo indicador de la degradación del suelo y de la degradación de la estabilidad medioambiental del sistema. La huella hídrica y el agua virtual, son indicadores que demuestran las tendencias de la creciente demanda de agua dulce. El agua dulce es uno de los recursos más valiosos en el norte del país debido a su escasez (Gran Chaco), y limitante de la misma vida humana.

En otras palabras, los costos ambientales en que incurren las cadenas transnacionales de creación de plusvalía serán especialmente altos en los países del Sur y del Este, mientras que las economías postindustriales irán tornándose cada vez más benignas y afines con el medio ambiente.

El caso de la agricultura regional se muestra entonces paradigmático. Los nuevos espacios “vacíos” de producción comienzan a ocuparse y sobre ellos se avanza sin una consideración sostenible en el uso del recurso y tampoco incluyendo los costos de transformación involucrados.

La pérdida de biodiversidad es un proceso también intenso y que en algunos países está afectando recursos directamente vinculados a las ricas zonas boscosas. En el caso de Argentina, se avanza con el cultivo de soja sobre campos ya transformados (provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba) pero también, de la mano de las nuevas variedades, se impulsa un proceso de sojización hacia el caldenal pampeano, los bosques de ñandubay entrerriano, las provincias de Corrientes, Misiones, el NEA con las ecoregiones del Chaco y el Monte y hasta parte del NOA en las selvas pedemontanas de Yungas. Ahora se avanza incluso hacia el sur, con las nuevas sojas resistentes a la sequía.

La mayoría de estos procesos están relacionados con que las economías emergentes o de los países en vías de desarrollo acumulan aún una abultada deuda externa, cuyos servicios, acorde a los mecanismos implementados por el sistema financiero internacional, les obligan a echar mano de los recursos con que cuentan

bajo un uso totalmente irracional. La política económica agropecuaria impulsada en el país, tanto por el gobierno anterior como en el actual, sólo vio en el sector rural una caja para obtener recursos. En el caso actual, es para seguir pagando intereses de la deuda, y en el anterior, se usó para financiar planes sociales con limitado poder y mirada de desarrollo.

Los cálculos que desde la economía ambiental pueden lograrse para una mínima valuación de las externalidades involucradas en los sistemas de producción de un monocultivo como la soja, no pueden incluir adecuadamente aún, los costos por los efectos producidos sobre la biodiversidad local y regional, la pérdida "completa" de los nutrientes, los cambios de uso del suelo, los costos por problemas de estructura o el aumento tendencial en los niveles de riesgo por contaminación al incrementarse los niveles de agroquímicos (fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas) utilizados en la producción.

El crecimiento de los niveles de producción y el aparente enriquecimiento de ciertos sectores de la economía global, no puede soslayar los impactos que los procesos de transformación de los recursos tienen o tendrán en la sostenibilidad incluso débil de todo el sistema.

La pérdida de nutrientes es parte de este costo; la pérdida o mejora de los contenidos de materia orgánica, los problemas de acidez u alcalinidad, la pérdida de estructura, los problemas de infiltración o arrastre del agua en el suelo, las tasas de erosión y el riego, son también otros factores que no están incluidos en los costos.

El modelo global de agricultura industrial adoptado en Argentina encontró el país con una estructura agroproductiva receptiva a los cambios, que muy rápidamente adoptó en términos técnicos, nuevos paquetes tecnológicos como la siembra directa, las sojas, maíces y algodones transgénicos, la intensificación en el uso de agroquímicos, fertilizantes y nuevas maquinarias especializadas. Se abandonó a la agricultura familiar prácticamente a su suerte. La preeminencia de la agricultura industrial globalizada existió y sigue dándose.

Los métodos y cálculos para la evaluación de externalidades sobre la agricultura industrial argentina permiten brindar inferencias sobre la precariedad de los métodos convencionales de cálculo agroproductivo, en términos de las alternativas productivas y su sustentabilidad. Pero sin embargo, no pueden incluir los costos generados por externalidades inciertas o irreversibles como la pérdida de biodiversidad o la desaparición del sustrato productivo tanto para la generación actual como para las generaciones futuras.

No obstante se hace interesante contabilizar en términos físicos la movilidad de los distintos recursos involucrados en el suelo pampeano, no para su inclusión en los cálculos de costo/beneficio sino para su interpretación en términos del análisis de

sustentabilidad, bajo un paraguas de relevamiento integrado de los recursos, como datos relevantes de indicadores biofísicos de (in) sustentabilidad.

Históricamente, los suelos de la planicie chacompampeana, fueron suelos ricos en nutrientes esenciales, que a la luz de un modelo inicial de rotaciones agrícola-ganaderas liberaban nutrientes de forma más o menos estable. Por ello en Argentina, hasta muy entrada la década de los noventa, no se pensaba en aplicar fertilizantes sintéticos. Actualmente, las tasas de extracción se han hecho muy elevadas, lo que genera en los suelos más chacareados, una **“anemia por nutrientes”** que alerta sobre la estabilidad agroproductiva de todo el sistema rural.

Asumir, en términos de los volúmenes exportados, la fuerte extracción determinada a partir de mediados de los años noventa y generada por la soja y los otros grandes cultivos de exportación (maíz, girasol, trigo) y la forma en que se está vaciando la caja de nutrientes de la Región, puede entenderse como un aporte hacia los tomadores de decisiones de políticas y hacia la sociedad argentina, que en muchos casos, son actores que consideran estos recursos como ilimitados.

La valorización de los mismos en términos crematísticos (es decir, como lo diría la economía convencional), ha pretendido mostrar que si los costes de producción incluyesen las externalidades, estas en términos de fertilizantes equivalente (a reponer), claramente mensurables, aportarían también a una organización más efectiva de los sistemas productivos y constituirían una nueva herramienta para comprender la sobreexplotación que enfrentamos.

Sin embargo, es imperativo insistir en que los modelos de medición de extracción de nutrientes no incluyen en su evaluación de costos, los importantes efectos que se producen por la alteración de los ciclos y las dinámicas particulares de cada nutriente. Los ciclos pueden sufrir modificaciones profundas en el tiempo y en el espacio y en distintos ambientes ecológicos.

Además, el nuevo dinamismo del comercio agropecuario mundial, hace ya casi imposible que semejantes tasas de demanda se sostengan con una producción de baja intensidad, lo que potencia dramáticamente la aplicación de fertilizantes sintéticos.

La extracción de nutrientes puede comprenderse en términos de una aproximación a la evaluación de acercamiento o alejamiento a una sustentabilidad débil en la situación del suelo y como elemento importante para la definición de políticas ambientales y agropecuarias sostenibles hacia el sector del que Argentina depende.

Por ese motivo, se ha presentado y discutido ampliamente en su conjunto el complejo proceso de la agricultura argentina con énfasis en la región chacopampeana, donde la cuestión del suelo, su fertilidad y estructura es solo una

parte de un agroecosistema más amplio que se ve transformado. En términos de su sustentabilidad fuerte, respecto de otros indicadores (ecológicos, sociales) estos impactos nos muestran un importante alejamiento de su estado original, cada día más difícil de recuperar.

En estos términos, información como la aportada sobre los nutrientes extraídos, obtenida a través de indicadores, pretende enriquecer el proceso de evaluación de la sustentabilidad en términos macroeconómicos y ayudar a dirimir deudas externas impuras y deudas ecológicas. Al mismo tiempo esta información pretende que cuando en las discusiones se promueva la sustentabilidad, los tomadores de decisiones de políticas nacionales la utilicen e incorporen cada día con mayor intensidad al discutir no solo políticas internas, sino también en las negociaciones internacionales.

El intercambio ecológicamente desigual nos retrotrae nuevamente a una antigua y no saldada discusión expuesta por el economista argentino Raúl Prebisch bajo la premisa del Deterioro de los Términos de Intercambio en las transacciones internacionales. Hoy, en virtud de los precios internacionales - bajos ahora pero más altos en el promedio comparativo - se promueve mayores exportaciones de materias primas. Argentina sigue siendo el granero, el productor de materiales básicos para las industrias de los países desarrollados. Está claro que no llega a ser ni siquiera la granja, que está en Europa, ni la agroindustria, que sigue estando anclada en EE.UU., y crece en Europa y China.

Por ese motivo, es importante dejar de mirar la cuestión en términos monetarios y proyectar en el largo plazo lo que puede llegar a pasar con un país que sostenido en sus suelos, igualmente puede llegar a agotarlos y no se ha preparado tampoco para cuando ello ocurra.

Desde la Economía Ecológica, la cuestión fue abordada en términos del Metabolismo de Nutrientes, es decir, lo que de alguna manera podría comprenderse como una Contabilidad Nacional de Nutrientes, y una instancia de análisis de relaciones entre países deficitarios y excedentarios en nutrientes.

De hecho, la mayoría de estos movimientos son el resultado de las distorsiones de la política agrícola mundial, de los patrones del comercio agrícola internacional, de la subvaluación de las externalidades producidas y de las nuevas presiones generadas por la incursión del capital financiero global en el ámbito rural. Por otra parte, en muchas economías de países desarrollados el peso de los subsidios a la agricultura ha ayudado a expandir una agricultura ineficiente y costosa energética y ecológicamente, con alta carga de fertilizantes sintéticos, mientras que en las economías en vías de desarrollo como Argentina, se promovieron por ejemplo, retenciones a la exportación (impuestos) que ayudaron a distorsionar también una producción agropecuaria al menos más armónica, a favor de otra donde primaron

solo aquellos cultivos de alta renta en el mercado internacional, como la soja o el maíz.

La sobreproducción de alimentos y otros productos agrícolas ha facilitado una degradación ambiental debido a la aplicación excesiva de fertilizantes y a su vez ha contribuido a destruir economías de base local, promoviendo por tanto una creciente inseguridad alimentaria.

Estados Unidos, la Unión Europea y Japón gastan más de 365.000 mil millones de dólares en subsidios a la agricultura, lo que hace por el otro lado que estos subsidios cuesten a los países más pobres más de 70.000 mil millones de dólares en pérdidas de exportaciones y consumo interno agrícola. De acuerdo a las estimaciones del ACDIC, por cada tonelada de carne de pollo importada desde Europa en África, se pierden 5 empleos en el continente negro. Esto implica que para una exportación de 22.000 toneladas (2003), 110.000 empleos se perdieron solamente en Camerún (Mari y Buntzel 2008). El dumping afecta fuertemente a las economías más pobres. Mientras un kilo de pollo entero cuesta en la UE 1,31 euros, en África su valor es de 0,70 euros, el cuarto de pollo está en Europa a 1,64 euros y en África a 0,59 y las alas a 0,68 en África, mientras que en Europa se elevan a euros 1,98 (Mari y Buntzel 2008). Para las economías locales africanas, la opción de competir o sobrevivir se ha hecho insostenible. En Europa, más del 60 % de los granos se destina a la producción animal, mientras en el mundo ese valor ronda el 30 %.

Tampoco existe una relación proactiva Sur-Sur en el comercio de granos y harinas que potencie la integración regional del Sur. El poder de negociación del Norte desarrollado se manifiesta fuertemente en las relaciones comerciales. Argentina exporta sus granos y harinas de maíz y soja para alimentar pollos, cerdos y ganado lechero europeo. Estos animales producen luego las carnes, los huevos y la leche que finalmente exportan de manera subsidiada (a sus productores y sus precios) al África.

Posiblemente, la propuesta de acuerdo UE-Mercosur, fortalezca aún más este intercambio ecológica y socialmente desigual, en el cual los principales proveedores de soja (Brasil, Argentina, Paraguay y Bolivia), se concentren más aún en la provisión de insumos básicos para la agroindustria europea y luego la Unión Europea seguirá exportando sus excedentes cárnicos y lácteos, a precios de dumping al África.

Por otro lado, en muchos casos, se ha estimado que las pérdidas generadas superan el monto de los fondos otorgados por los países desarrollados en los programas de desarrollo al tercer mundo.

Es llamativo que hoy nuevamente, los "programas de desarrollo" sostengan la mirada en revitalizar una nueva "revolución verde" en los países en vías de desarrollo, sostenida por segunda vez, en el uso intensivo de nuevos fertilizantes sintéticos, programas de riego, semillas híbridas y nuevos desarrollos transgénicos.

La AGRA (Alianza para una revolución verde en África, AGRA por sus siglas en inglés), es una propuesta de la Fundación Gates, que promueve estos programas, entre los que nuevamente la fertilización sintética está en su centro, con más de 400 proyectos en desarrollo y una inversión de más de 400 millones de dólares.

Pareciera así que a la cuestión tan remanida de la renta por calidad o por distancia (D. Ricardo) se le suma ahora una mucho más compleja apropiación de la renta ambiental (servicios ambientales) y climática (posición territorial frente al cambio climático). Ventajas competitivas (conocimiento, información y recursos financieros) dominan, toman y explotan ventajas comparativas (recursos naturales), haciéndose ahora la cuestión de los intangibles ambientales una cuestión novedosa y relevante. La combinación de suelos de calidad, cambio climático, disponibilidad hídrica y la inexistencia de fenómenos extremos, muestra que el mundo desarrollado promueve nuevamente una "relocación eficiente" del uso de los recursos naturales y los nutrientes, promoviendo mercados de exportación de productos primarios desde países como la Argentina y otros exportadores netos de la América Latina.

Esta presión por la exportación, en detrimento de la potenciación por la diversificación y el desarrollo local da cuenta de los efectos deletéreos de la intensificación agrícola, que en Argentina significa exponer a gravedad extrema a 21 millones de hectáreas por erosión eólica y a 25 millones por erosión hídrica.

Varias décadas atrás, el padre de la conservación de los suelos en Argentina, ingeniero agrónomo Jorge Samuel Molina, afirmaba en un elocuente párrafo de su libro "Hacia una nueva agricultura" (1981): "Argentina se escribe con 'A', de alfalfa...". Daba cuenta así de la relevancia que tenían y tienen para los campos, las pasturas en términos de la gestión, administración y sustentabilidad agroproductiva del recurso suelo. El histórico proceso de refinación de los campos de la planicie chacopampena, promovido hace más de 150 años por los terratenientes ganaderos, dio cuenta de un cambio rotundo de la tipología de los pastizales y la acumulación de MO y flujo de nutrientes en los suelos. Fue el paso de la *paja brava* (varias gramíneas y ciperáceas nativas), dominante, hacia pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas que revitalizaron y mejoraron la calidad nutritiva y palatabilidad del forraje para el ganado. El proceso dado sobre millones de hectáreas, especialmente en las Pampas, el bosteo posterior de los animales, la calidad e incorporación de los nutrientes naturales ya disponibles (loess pampeano) en estos suelos, dieron paso a una rotación agrícola-ganadera que generó un histórico círculo virtuoso, sustentable en términos ecológicos y agronómicos, si bien no lo fue en términos sociales.

Es así que a finales del siglo XIX, la promovida instalación de chacras y colonias rurales a través de familias europeas inmigrantes, que trajo a Argentina a millones de personas del viejo continente, muchos de ellos agricultores, tuvo un éxito parcial. Los recién llegados se encontraron con que los campos prometidos ya estaban

ocupados por terratenientes argentinos, muchos de ellos logrados como prenda de la Campaña del Desierto, la avanzada de la civilización sobre las poblaciones indígenas. No obstante, los inmigrantes, en algunos casos, pautando acuerdos leoninos con sus empleadores, se comprometían a “alfalfar” los campos esperando que si había buenas cosechas, lograrían los fondos para comprar la propia tierra. Esto daba cuenta por otro lado de una riqueza del suelo generada por el trabajo humano. La histórica puja, dio lugar al nacimiento de una incipiente Federación Agraria Argentina (compuesta por chacareros inmigrantes italianos, españoles, franceses, etc.), que recogía las bases socialistas y anarquistas europeas, mientras del lado de los dueños de la tierra se generó la Sociedad Rural Argentina (terratenientes argentinos), representante de la sociedad más conservadora.

Más allá de ello, el resultado de la rotación agrícola-ganadera fue y es una adecuada práctica de manejo de los suelos, para lograr al menos una estabilidad y balance de nutrientes.

La producción animal a escala predial y familiar, en un planteo de rotaciones pasturas-granos o extensivo en pastizal natural, bajo bases agroecológicas, enriquece por debajo y por encima del perfil del suelo, tanto en el plano biogeoquímico como en el de la biodiversidad.

El costo de la degradación de los suelos, las pérdidas de estructura y la reposición artificial de nutrientes es muy alto. En China se estima en unos 13.900 millones de dólares (de 1996) por año y en Argentina sólo para reponer el nitrógeno y el fósforo extraído, el costo es equivalente al 25 % de la producción sojera anual.

El agregado de los efluentes ganaderos mejora la capacidad de retención hídrica y las condiciones físicas, así como la estabilidad estructural. Asimismo al diversificar la producción, se cortan también ciclos de plagas y enfermedades. La mejora del contenido orgánico (MO) se favorece y este es también un resultado económico palpable. Aproximadamente 20 millones de toneladas o el 22 % del total de la fertilización nitrogenada de 94 millones de toneladas, y 11 millones de toneladas o el 38 % de los fosfatos son de origen animal. Esto representa más de 1.500 millones de dólares por año en ahorro de fertilizantes sintéticos, según datos de la propia FAO (FAO 1997).

Dado que la eficiencia en el uso del nitrógeno es más baja en la producción animal que en la producción de granos, la potenciación de un sistema de producción integrada granos-carne en forma local, permitiría alcanzar logros más estables ambientalmente, evitando los intermediarios y ganancias parciales de la exportación de granos sin valor. La integración favorece la producción local y regional y ayuda a cerrar localmente el ciclo del nitrógeno. Por ejemplo en un reciente estudio (RISE 2016) se demuestra nuevamente que la eficiencia de conversión es muy baja. Por cada cinco toneladas de nitrógeno que entran en el sistema agrícola, solo una es convertida a productos consumidos por los humanos (menos del 20% de eficiencia

en el uso de los nutrientes y en el caso del fósforo, el valor es del 30%. Mientras la conversión en los cultivos llega actualmente al 53% en nitrógeno y al 70% con fósforo, en el ganado la conversión logra niveles muy bajos que llegan al 18% del nitrógeno y 29% del fósforo).

Basados en los datos de los flujos físicos de los cuadros y gráficos expuestos, hemos visto que:

- Existe una clara salida de nutrientes del sistema productivo argentino.
- La pérdida del sistema de rotaciones agrícola-ganadero afectó la estabilidad agronómica del agroecosistema.
- Esta salida está impulsada por el proceso de agriculturización y sojización que se ha dado en el sistema en los últimos 20 años especialmente.
- La exportación de nutrientes en los granos (soja), prima muy fuertemente por encima de todas las otras producciones (carnes, leche, huevos, maderas).
- Las otras producciones agrícolas, en especial la ganadería extensiva, devuelven a los campos una notable cantidad de efluentes.
- No se han considerado aquí los nutrientes provenientes como efluentes de las grandes ciudades, pero esta es una variable notable que deberá ser estudiada.
- La carga de fertilizantes sintéticos es creciente, pero no tan intensa como en otras regiones del mundo. En Argentina, el aporte a la cascada de nitrógeno se da fundamentalmente por la existencia de los procesos de fijación simbiótica vinculados a la soja.

El enfoque aplicado ha sido de características integradoras y bajo el prisma de revisión a través del metabolismo físico, bajo la visión de la Economía Ecológica como elemento para los cálculos de metabolismo de nutrientes, y tomando la visión de la Ecología Política para la definición de la conflictividad en el uso de un recurso tan importante para un país que pretende sostenerse de manera casi permanente sobre su explotación y mejor aprovechamiento. Es decir, el análisis respecto a la salida y extracción de nutrientes, no solamente intentó reflejar un nuevo y único indicador sino apunta especialmente a manifestar y demostrar la preocupación sobre un modelo insostenible en términos de la utilización de los recursos del suelo, donde la soja, como monocultura, viene a representar un modelo de extracción degradatorio y de sobreexplotación pobremente analizado en toda su complejidad por los tomadores de decisiones y la academia.

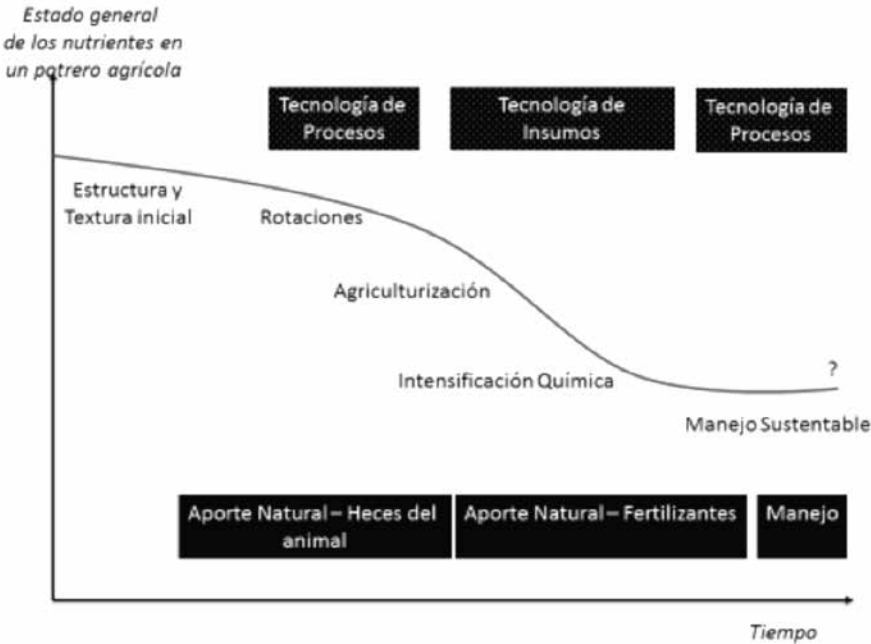
Recomendaciones

*“Una nación que destruye su suelo se destruye a si misma.
Los bosques son los pulmones de la tierra, purifican el aire y dan fuerza pura
a nuestra gente.”
Franklin D. Roosavelt*

La buena gestión y administración del recurso suelo, en especial, en aquellos siete sectores del mundo que están llamados a ser la canasta de alimento local y global, es una cuestión de supervivencia civilizatoria.

El caso de Argentina es paradigmático. Habiendo pasado por varias etapas se concentra en una agriculturización/sojización que la llevó a mermar sustancialmente la cantidad y calidad de sus suelos productivos y en especial de sus nutrientes. La tecnología de insumos (agroquímicos y fertilizantes) primó por encima del buen manejo agronómico y la tecnología de procesos (manejo y gestión del agroecosistema). Si bien de manera incipiente, los problemas comienzan a

Evolución de la Estabilidad Ecosistémica de los Suelos Pampeanos.



detectarse y reconocerse y se abre una pequeña ventana a la oportunidad de la implementación de un mejor manejo, un camino hacia la sustentabilidad posible y quizás, a la incorporación de prácticas de base agroecológica.

A pesar de lo que se diga desde la lógica empresarial de los promotores de la siembra directa, los costos para la biodiversidad, para el suelo y para la propia supervivencia del modelo rural planteado son insoslayables. Si no hay cambios notables en la política agropecuaria y formas de producción que generen mayor estabilidad ecosistémica, estos son costos irreversibles. Los impulsores de la siembra directa industrial no han sido productores emprendedores, sino que han actuado con una temeridad que da cuenta del ocultamiento y escasa mirada sobre los costos ambientales y sociales que su modelo ha generado.

La participación de organismos de investigación científica y técnica como el INTA, el INTI o incluso AACREA, ha mostrado esfuerzos más personales que institucionales en este sentido. Estos esfuerzos no han sabido, no han podido o quizás no han querido lidiar con la fuerza que empujaba un modelo sojero que parecía irrefutable. No se han planteado quizás volver al conocimiento técnico y colocarlo por encima de la preeminencia económica, de una forma que ayude a mirar y remediar el daño producido al recurso más vital de la sociedad argentina.

Por eso es claro que la recuperación y mejor manejo de los suelos en Argentina puede lograrse solamente si el proceso es acompañado integralmente por todos los organismos científicos y técnicos (Universidades, INTA, INTI, Instituciones del sector productivo y técnico) en una sólida participación técnica y política del Estado que premie, incentive y module prácticas productivas sostenibles, poniendo a su vez límites al mal manejo y al descontrol.

Para ello es imprescindible fomentar sistemas de regulación, fomento y promoción de prácticas sostenibles, acompañados por normas legales que garanticen la estabilidad agroproductiva del recurso suelo, pongan en valor sus servicios ambientales y sociales, y den cuenta del intercambio ecológicamente desigual que hoy mismo se está dando entre las regiones productoras y las regiones consumidoras en el mundo global.

Por tanto, es asimismo imprescindible que Argentina cuente con las bases de información física del movimiento de los nutrientes a nivel departamental, provincial y nacional, de forma histórica y con proyección para plantearse escenarios de sustentabilidad. Desde allí es necesario que se recomiende, localice y promocióne las mejores prácticas agrícolas resguardando la multifuncionalidad del nuevo planteo. Hemos mostrado en este material, la posibilidad de contar con información sobre los nutrientes extraídos. Deberá el Estado dar cuenta de promover en la misma escala departamental, la medición de la situación de sus suelos en términos de cada uno de los nutrientes disponibles en ellos y el análisis de las tendencias y escenarios frente a las tasas de extracción expuestas.

Por ese motivo, en términos generales, para lograr una mejora en la estabilidad nutricional de los suelos argentinos, debería analizarse la posibilidad de promover:

- Estudios y escenarios sobre los cambios de Uso del Suelo.
- Un Sistema Nacional de Contabilidad de Nutrientes (Metabolismo de Nutrientes).
- Balance de Nitrógeno y Fósforo (por ser los de mayor demanda y extracción, sumado al hecho de los aportes que el primero hace a la fijación simbiótica).
- Balance de oligo y micronutrientes y estudios sobre los efectos de sus limitaciones y costos (porque cuando estos nutrientes se convierten en limitantes, sus costos de reposición se tornan elevadísimos).
- Aplicación de la agricultura de precisión al control de la gestión y no solamente al incremento de la productividad por unidad de área. Esta información entregada lote por lote, brinda información sobre el estado de los cultivos y permite planificar un mejor manejo y conservación del suelo.
- Elaboración de Mapas de Índice Verde (*Normalized Difference Vegetation Index –NDVI*), que permitan conocer no solo el estado de los cultivos, sino la situación de los nutrientes en un determinado espacio.
- Control en la aplicación de fertilizantes sintéticos y promoción de la reducción y control de su uso.
- Regulación de los períodos de aplicación y seguimiento de los procesos de percolación, infiltración y volatilización.
- Limitación severa del uso de fertilizantes sintéticos en áreas cercanas a los cursos de agua, cabeceras de cuencas y áreas protegidas.
- Promoción amplia de las rotaciones agrícola ganaderas y agro-silvo-pastoriles según de qué ecoregión se trate, especialmente teniendo en cuenta el enorme aporte de nutrientes que hace el animal en la rotación.
- Determinación de la carga animal, su capacidad de bosteo y aporte por hectárea, junto a su seguimiento temporal y estabilización del sistema.
- Impulso de una agricultura integrada y sistemas agropastoriles, enfocados en la producción agroecológica que permite una recirculación local de los principales nutrientes.
- Vinculación de la misión de la agricultura argentina con la seguridad y soberanía alimentarias.

La cuestión del nitrógeno es crucial y su importancia debe ser reconocida especialmente a la luz de la preocupación local y global, donde su exceso en distintas escalas es ya muy notable.

Un alerta mundial que no puede soslayarse es la llamada **Cascada de Nitrógeno**, derivada en especial de dos factores. El primero, es promovido especialmente por la intensificación mundial en el uso de fertilizantes nitrogenados y su concentración

en cursos de agua y sistemas agrícolas. El segundo factor deriva especialmente de los importantes cambios que están sucediendo en la agricultura mundial, latinoamericana en especial y claramente en Argentina, con su concentración en cultivos que fijan simbióticamente el nitrógeno, como sucede con la soja. En Europa ya desde los años noventa, se promovía una Directiva sobre Nitratos con el fin de regular y disminuir la carga en los cursos de agua y la promoción de Buenas Prácticas Agrícolas. Esta regulación fue adoptada luego similarmente por la EPA y el USDA en los EE.UU. Estos estudios son acompañados actualmente por un enfoque regional y nacional. La UE mapea sistemáticamente la situación de los principales nutrientes, como así también las redes de nutrientes (REDNUT) en una escala mayor.

En los países de la Cuenca del Plata, lamentablemente se trabaja mucho más en potenciar el consumo de fertilizantes que en el estudio de los desbalances generados por su uso y por la extracción de los cultivos. Paraguay y Bolivia (en especial el Oriente Boliviano) cuentan con estudios limitados, mientras que Argentina, Brasil y Uruguay cuentan con estudios detallados que podrían mejorarse y ser aprovechados para realizar una Contabilidad Nacional de los Nutrientes y establecer su relación con variables de valoración económica. Esta estadística sería muy útil para la determinación de instrumentos de políticas públicas agropecuarias y ambientales.

Desde el punto de vista económico ecológico, además de los balances biofísicos propuestos, se debería implementar una batería de instrumentos que permita regular el uso de los suelos y sus balances de nutrientes. Estos instrumentos pueden ser de regulación directa y de regulación indirecta.

Los instrumentos de regulación directa refieren a una acción directa del Estado con el fin de mejorar las prácticas de manejo y control en el uso del recurso suelo. Entre ellas podrían considerarse:

- Una legislación específica sobre Manejo y Conservación de los Suelos (y no de promoción del consumo de fertilizantes).
- Políticas de Manejo Integrado de Cuencas.
- Uso del Canon de uso (agua, suelos, servicios), dirimidos entre lo público y lo privado.

Los instrumentos de regulación indirecta responden a decisiones que se toman desde el Estado a través de políticas que buscan promover el mejor uso del recurso, a través de incentivos y regulaciones económicas y financieras:

- Aplicación de una política nacional de Retenciones Ambientales (Impuestos a la producción de ciertos cultivos, dirimidos por tamaño de explotación, tecnologías aplicadas, cultivos y prácticas de manejo involucradas).
- Subsidios para fomento de Prácticas Productivas (en ciertos cultivos)

- Valor Económico Total (VET) de Bienes Ambientales (Suelo) y sus consideraciones directas e indirectas, de opción y de existencia.
- Préstamos blandos para el fomento de prácticas de conservación y diversificación (agroecología, terrazas, rotaciones).
- Regulación y Extensión del tiempo de duración de los contratos de arrendamiento.
- Identificación de la Huella de Nutrientes por producto, y Análisis del Ciclo de Vida de los nutrientes por producto.
- Subsidios que contribuyan a la reducción de emisiones y mitigación del cambio climático.
- Mercados de permisión de emisión y dispersión de nutrientes hacia el agua, el aire y los suelos.

La alta carga de nitrógeno en especial en la sociedad humana actual hace que, además de los balances y desbalances físicos o la capacidad de carga máxima, se considere de manera más integrada el manejo del nitrógeno en la sociedad. Y este proceso se vincula a los cambios de uso del suelo y la calidad de cada tipo de suelo, que permita mensurar las curvas óptimas del nutriente por cada actividad y tipo de suelo.

Otro aspecto relevante, si se pretende una correcta utilización de los suelos de Argentina tanto para la generación actual como para las futuras, tiene que ser poner énfasis en la formación, la extensión y la **educación ambiental** tanto de los productores rurales como de los ingenieros agrónomos.



Calicata. Estudio del Perfil Edáfico. Discusión entre agrónomos y productores rurales, en la última Expoagro 2016. La comprensión cabal del manejo de los suelos está en manos de estos dos actores y por supuesto del Estado (Pengue 2016).

Las nuevas prácticas de arrendamiento de campos también impactan (generalmente de forma negativa), sobre la mejor utilización del recurso suelo, que habitualmente es sobreexplotado, para obtener del mismo la mejor renta inmediata del cultivo.

Para un país de base agropecuaria como Argentina, la correcta gestión sustentable del recurso suelo, implica una responsabilidad a nivel nacional e internacional.

A la ya mencionada inclusión de estos temas en la discusión mundial, deberá incorporarse en términos de políticas globales y regionales indicadores que midan y proyecten escenarios sobre los flujos de nutrientes (Suelo Virtual) en función de sus impactos vinculados a los costos ambientales, la seguridad y soberanía alimentaria de las naciones y el aporte según cada práctica, tipo de consumo y emisiones vinculadas al cambio climático.

El cambio de uso del suelo a nivel mundial (UNEP 2014) ha producido perturbaciones en el ciclo de los nutrientes en el continuo suelo-agua-planta-atmósfera, en un amplio rango de escalas desde el nivel predial al plano global. El fuerte contraste en el balance de los suelos agrícolas en países deficitarios y excedentarios en nutrientes genera importantes costos ambientales en la salud de los agroecosistemas y la sociedad global. Este movimiento internacional de nutrientes en el comercio mundial de granos produce ya costos y cancelación de servicios ambientales que deben ser más profundamente estudiados y al mismo tiempo incorporados en las discusiones comerciales internacionales.

A nivel nacional, Argentina deberá contar con una Ley de Suelos (la Ley N° 22.428 de Manejo y Conservación de Suelos, como se informó, fue derogada), que incluya especialmente:

- El balance biofísico de los principales nutrientes desde distintas escalas.
- El balance de la biota del suelo (biodiversidad de suelo), en especial los grupos funcionales vinculados a la estabilidad del agroecosistema.
- La mejora en la comprensión de los ciclos bio-geoquímicos de cada nutriente.
- Los estudios prospectivos y escenarios, frente a los distintas prácticas productivas, sistemas de producción, su integración y el conjunto de instrumentos que regulan tales actividades.
- La promoción de plantillas técnicas de contralor predial y autorización de agroquímicos.
- La integración con otras leyes, en especial con los contratos de arrendamiento.
- La promoción de programas de desarrollo rural que promuevan el uso adecuado del suelo con enfoque socioambiental.

- La puesta en valor de los suelos de Argentina en la discusión internacional y sus aportes.

Resulta imperativo aclarar que el análisis del balance de nutrientes, para ser efectivo en la forma en que se usa el recurso, debe contar con un enfoque multicriterial y multidimensional, que ayude especialmente a los tomadores de decisiones sobre políticas públicas a ordenar un recurso que si bien es privado en su mayoría, debe involucrar y apelar a la responsabilidad pública para sostener el uso de un bien ambiental que no es de una generación, sino de todas las generaciones por venir, en igualdad de condiciones.

La mala administración del recurso suelo, nos llevará a lo que ya estamos experimentando masivamente en muchas ecorregiones argentinas: el desierto y una creciente inestabilidad social, ecológica y económica.

Bibliografía

- Andriulo, A. et al. *Exportación y balance edáfico de nutrientes después de 80 años de agricultura continua. En 13 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindota. Sao Paulo. Brasil. 1996.*
- Álvarez, R. (2006). *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Buenos Aires: UBA.*
- Álvarez, R. (2010). *Balance de nutrientes: una visión económica. Memoria técnica. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/balance-de-nutrientes-una-vision-economica-1>*
- Atlas Ambiental de Buenos Aires. Disponible en: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/>*
- Baile Bailey, R., Clarck, H., Ferraris, J., Krause, S y Strong, R. (2002) *Chemistry of the environment. California: Academic Press.*
- Bashkin, V. y Howarth, R. (2002) *Modern biogeochemistry. Londres: Kluwer Academic.*
- Beste, A (2015). *Down to earth – The soil we live off on the state of soil in Europe’s agriculture. MEP. The Greens.*
- Buckwell, A. Nadeu, E. (2016). *Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture. A review of the issues, opportunities, and actions. RISE Foundation, Brussels*
- Buzzi, E. et al. *La tierra. Para que. Para quienes. Para cuantos. Por una agricultura con agricultores. Buenos Aires. Ediciones Ciccus. Fundación Centro Integral Comunicación, Cultura y Sociedad. 384 pp. 2005.*
- Cabrini, S. y otros (2009). *Sistemas de producción en el Partido de Pergamino. Valoración económica del impacto sobre la capacidad productiva de los suelos. Buenos Aires: Ediciones INTA.*
- Cabrini, S. y otros (2011). *Costos ambientales y eficiencia productiva en la producción agraria del Partido de Pergamino. Buenos Aires: Ediciones INTA*

Carreño, L y Viglizzo, E. (2007). *Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Carballo, S, Marco, N, Anschau, a and Hilbert, J. *Spatial analysis of the potential crops for the production of biofuels in Argentina*. CIGR – International Conference of Agricultural Engineering. XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Brasil. 2008.

Castignani, H. (2011). *Zonas agronómicas homogéneas*. Santa Fe. INTA EEA Rafaela.

Chevallier Boutell, S. y Toribio, M. (2006). *Volatilización del amoníaco*. Agromercado.121

CIAFA. Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos. Disponible en : <http://www.ciafa.org.ar/informes.htm>

Ciampitti, I. y García, F. (2007). *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: I Cereales, oleaginosas e industriales*. Archivo Agronómico .11. 13 –16.

Ciampitti, I. y García, F. (2008). *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios: II Hortalizas, frutales y forrajeras*. Archivo Agronómico. 12. 1 – 4.

Conti, M. *Dinámica de la liberación y fijación del potasio en el suelo*. Disponible en [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA%204.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA%204.pdf)

Correa Luna, M. *Balance Nutricional del suelo en ganadería (CBI)*. INTA. Venado Tuerto. 2013.

Costanza, R. J Cumberland, H Daly, R Goodland and R Norgaard. (1997) *An Introduction to Ecological Economics*. Boca Raton, Florida: St Lucie Press.

Cox, P. (1997) *The elements on the earth: inorganic chemistry*. Nueva York: Oxford University.

Craswell, E. Ulrike Grote, J. Henao y Paul L.G. Vlek. 2004. *Nutrient Flows in Agricultural Production and International Trade: Ecological and Policy Issues*. IFDC 78.

Cruzate, G. y Casas, R. (2003). *Balance de nutrientes*. Revista Fertilizar INTA. 8. 7-13.

Cruzate, G. y Casas, R. (2009). *Extracción de nutrientes en la Argentina*. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 44. 21-26.

Cruzate, G. y Casas, R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* .6. 7-14.

Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Flores, G. (2000) *Biología*. Buenos Aires: Médica Panamericana.

Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue W.A. 2007. LCA of Soybean Meal. *Int J LCA*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.06.342>

Darwich, N. (2007). El balance físico-económico en las rotaciones agrícolas <http://www.elsitioagricola.com/articulos/darwich/El%20Balance%20Fisico%20Economico%20en%20las%20Rotaciones%20Agricolas.asp>

Darwich, N. (2007). Nutrientes del suelo, cuánto queda y cuánto se va. *Marca líquida agropecuaria*. 18. 15-17.

Darwich, N. *Manual de fertilidad de suelos*. 1989. Balcarce: INTA EEA.

De Jagger, A. y otros (1998). Monitoring nutrient flows and Economic performance in African farming systems (NUTMON) 1. Concepts and methodologies. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 71:37-48.

Dominati, E., Murray Patterson, A y Mackay, A (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* 69:1858-1868.

Echeverría, H. E. y García, F. O. (2015). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. INTA EDICIONES. Colección Investigación, Desarrollo e Innovación. Buenos Aires. 2015.

Eisenmenger y otros. (2007) Análisis del metabolismo energético y de materiales de Brasil, Chile y Venezuela. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 6. 33-51.

EUROSTAT (Oficina de estadísticas de la Unión Europea). 2001. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Luxembourg: EUROSTAT.

Fancelli, A. y otros. (2006). *Micronutrientes en la agricultura: diagnóstico y fertilización en Argentina. La experiencia brasilera*. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2004). *Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina*. Roma, FAO.

Ferraris G. y L. Couretot (2013). *Micronutrientes en región pampeana argentina: Posicionamiento y tecnología de aplicación*. Actas Simposio Fertilidad 2013. Rosario, Santa Fe, 22 y 23 de Mayo de 2013. IPNI Cono Sur y Fertilizar AC.

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., Schandl, H. y Weisz, H., 2011. *Methodology and Indicators of Economy-wide Material Flow Accounting. State of the Art and Reliability Across Sources. Journal of Industrial Ecology*, 15(6): 855–876.

Flores, C. y Sarandón, S. (2003). *¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía*. 52-67.

Frenguelli, J (1955). *Loess y limos pampeanos. Univ. Nac. de la Plata, Fac. de Cs. Nat. y Museo, Serie Técnica y Didáctica N° 7. La Plata*.

García, F. y González Sanjuán, M. (2010). *Balances de nutrientes en Argentina. ¿Cómo estamos? ¿cómo mejoramos?. Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 48.1-5.

García F. y N. Darwich. (2009). *La fertilización: Tecnología para sostener la productividad de nuestros suelos. En La Argentina 2050: La revolución tecnológica del agro. Hacia el desarrollo integral de nuestra sociedad. D. Ricci (coord.). 1a. ed. Buenos Aires. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE). pp. 417-445. ISBN 978-987-1563-00-5*.

García, F., y M. F. González Sanjuan (2010). *Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 48:1-5. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina

García F. y M. F. González Sanjuan (2013). *La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 9:2-7. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

García F. y F. Salvagiotti (2009). *Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del Cono Sur de Latinoamérica. En J. Espinosa y F. García (ed.). Memorias del Simposio "Uso eficiente de nutrientes". XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. pág. 37-48*.

García F. y F. Salvagiotti (2010). *Fertilizer best management practices in Argentina with emphasis on cropping systems. In L. Prochnow, V. Casarin y S. Regina Stipp (ed.). Boas practicas para uso eficiente de fertilizantes Volume 1. Contexto mundial e practicas de soporte. IPNI Brasil. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. pp. 111-142. ISBN 978-85-98519-04-3*.

García, F. y Correndo, A (2015) *Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes para una Agricultura Sustentable. IPNI. UNGS (en prensa)*.

García, M. Producción de granos y consumo de fertilizantes. http://64.76.123.202/sitelagriculturalagua_y_suelos/05-fertilizantes/panorama.pdf

Gerbens-Leenes, P.W. Hoekstra, A.Y. and Van der Meer. Th. (2008) The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply, *Ecological Economics*, doi:10.1016/j.ecolecon.2008.07.013.

HBF. Heinrich Böll Foundation (2015). Soil Atlas. Facts and figures about earth, land and fields. HBF y IASS Postdam.

Henao, J. y Baanante, C.A (1999). Estimating rates of nutrients depletion in soils of agricultural lands of Africa. International Fertilizer Developing Center. Muscle Shoals. Alabama.

Herrero, A. Balances de nutrientes en tambos. El valor de los residuos. Conferencia presentada dentro del Programa de Capacitación de la Mercoláctea 2007

Iglesias, D. Y otros. (2008). El balance de nutrientes en la provincia de La Pampa y sus implicancias económicas. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 9 .19-30.

INDEC. Instituto Nacional de Censos y Estadísticas. <http://www.indec.com.ar/indec.gov.ar.htm>

INI. International Nitrogen Initiative Steering Committee. (2004). A Preliminary Assessment of "Changes in the Global Nitrogen Cycle as a Result of Anthropogenic Influences". Tercer Conferencia Internacional de Nitrógeno. October,2004.China.

INTA. Instituto de Suelos. Sustentabilidad de la agricultura en la Región Pampeana. Castelar. Buenos Aires. Mimeo. 2003.

IPEC. Instituto Provincial de Estadísticas y Censos. Disponible en: [http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/111316/\(subtema\)/93664](http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/111316/(subtema)/93664)

IPNI. International Plant Nutrition Institute. Disponible en: www.ipni.net

Keller, E.A. y Blodgett, R.H. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson Prentice Hall. 2004. Version traducida. España

Manchado, J. (2010). La sustentabilidad en la agricultura pampeana: valoración económica del balance de nutrientes para las principales actividades agropecuarias extensivas en la Región Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires. XLI reunión anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria.

Martinez Alier, J. *De la Economía Ecológica al Ecologismo Popular*, Ediciones Nordan Comunidad. Icaria. Montevideo. 286 pp. 1995

Mari, F. y Buntzel, R. (2008). *The global chicken. Chicken breast and chicken wings – but who eats the leftones?*. Ed. Brandes y Apeel. Frankfort.

Marschner, P y Rengel, Z. (Eds.). (2007). *Soil Biology vol 10. Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. Berlin: Springer.

Michiels, C. L. y M.L. Ruffo. (2012). *El zinc limita el rendimiento del maíz en la región pampeana argentina*. Actas CD XIX Congreso Latinoamericano – XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20 de Abril de 2012. Mar del Plata, Buenos Aires. Argentina.

Miwa (1992). *Global nutrient flow and degradation of soils and Environment*. Transactions, 14 th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japn. Agosto 1990. V. Pag. 271-276.

Morello, j; S. Matteucci; A. F. Rodriguez y M. E. Silva (2012) *Ecorregiones y Complejos Ecosistemicos Argentinos*. Orientacion Grafica. Buenos Aires. Argentina.

Moscatelli, G. (1991). *Los suelos de la Región Pampeana*. p. 1-76 en O. Barsky (ed.) *El desarrollo agropecuario pampeano*. INDEC-INTA-IICA, Buenos Aires.

Moscatelli, G. (1995). *Impacto del Mercosur sobre los suelos*. Geotemas 12:31. Revista del Consejo Superior Profesional de Geología. Buenos Aires.

Moscatelli, G. y Puentes, M.I. (1998). *Suelos Argentinos en Conti, M. (Coord.) Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos*. p. 334-350. 1ra. Ed., Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina.

Moscatelli, G. y Puentes, M.I. (2000). *Capítulo: Atlas de Suelos en Durán, D. y Casas, R. (Eds.). La Argentina Ambiental II*. Lugar Editora, Buenos Aires

Panigatti, J. (2010). *Argentina 200 años, 200 suelos*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Parris, K. (1998). *Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: an OECD perspective*. Environment Pollution 102:219-225.

Paruelo; Guerschman; Piñeiro; Jabboigy; Verón; Baldi y Baeza. (2006). *Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis*. Agrociencia .2. 47-46.

Pengue, W. A. *Cultivos Transgénicos ¿Hacia donde vamos?*. Buenos Aires. Lugar Editorial. UNESCO. 206 pp. 2000.

Pengue, W.A. *Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina. ¿La transgénesis de un continente?. Red de Formación Ambiental. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental N 9. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA. México. 220 pp. 2005.*

Pengue, W.A. *Modelo Agroexportador, Hidrovia ParaguayParaná y sus consecuencias socioambientales. ¿Una compleja integración para la Argentina?. Una visión desde la Economía Ecológica y el enfoque multicriterial. Coalición Ríos Vivos. Taller Ecologista. Rosario. 72 pp. Mayo 2006.*

Pengue, W. A. *Sobreexplotación de recursos naturales y mercado agroexportador: Hacia la determinación de la deuda ecológica con la Pampa Argentina. Córdoba. España. Tesis Doctoral. 303 pp. Junio 6. 2006.*

Pengue, W.A. *Agrofuels and agrifoods: counting the externalities at the major crossroads of the 21st century. BSTS. Canadá. 2009.*

Pengue, W.A. *La apropiación y el saqueo de la naturaleza. Conflictos ecológico distributivos en la Argentina del Bicentenario. Lugar Editorial. Buenos Aires. 2008*

Pengue, W. (2009) *Fundamentos de Economía Ecológica. Buenos Aires: Kraicon.*

Pengue, W. (2010). *Suelo virtual, biopolítica del territorio y comercio internacional. Fronteras. 9. 12-24.*

Pengue, W. (2009). *Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. Revista Latinoamericana de Economía. 40. 37-163.*

Pengue, W. A (2015). *Dinámicas y Perspectivas de la Agricultura actual en Lationamérica: Bolivia, Argentina, Paraguay y Uruguay. Fundación Heinrich Böll Cono Sur. Santiago, Chile. Primera Edición. Libro bajo Licencia de Creative Commons.*

Perez-Manrique, L. P., Brun, J., González-Martínez, A. C., Walter, M. and Martínez-Alier, J. (2013), *The Biophysical Performance of Argentina (1970–2009). Journal of Industrial Ecology. doi: 10.1111/jiec.12027*

Plaster, E. (2000). *La ciencia del suelo y su manejo. Madrid: Paraninfo.*

PNUMA. *Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). Anuario 2010. Avances y progresos científicos en nuestro cambiante medio ambiente. UNEP*

PNUMA. 2010. *Resource Panel. Productos y Materiales Prioritarios. Evaluación de los impactos medioambientales del consumo y la producción. UNEP. Disponible en: file:///D:/Usuario/Escritorio/SUELOS%20BIBLIOGRAFIA/PriorityProductsAndMaterials_Summary_SPA.pdf*

Potash and Phosphate Institute. (2008). *Manual internacional de fertilidad de suelos*. Canadá, Potash and Phosphate Institute.

Prebisch, R. *Biosfera y Desarrollo*. Revista de la CEPAL Número 12: 73-89. Diciembre 1980.

Primavesi, A (1982). *Manejo Ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales*. Quinta Edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires.

Requerimientos nutricionales de los cultivos. (2002). Archivo agronómico.3. Disponible en: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/010B4CDA48FABB666503257967007DD076/\\$FILE/AA%203.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/010B4CDA48FABB666503257967007DD076/$FILE/AA%203.pdf)

Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley JA (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*. 2009 Sep 24;461(7263):472-5. doi: 10.1038/461472a

Rodríguez-Soalleiro, R., M. Balboa, J. G. Álvarez-González, A. Merino y F. Sánchez. (2004). Efecto de la selvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. *Invest Agrar: Sist Recur For.Fuera de serie*, 114-126

Rosegrant, M. y otros (2001). *2020 Global Food Outlook: Trends, alternatives and choices*. IFPRI. Washington.

Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert y G. Domínguez. (2000). Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1176-1183.

Sainz Rozas H., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, P. Barbieri, H. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris y M. Barraco. (2013). ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? *Actas Simposio Fertilidad 2013*. Rosario, Santa Fe, 22 y 23 de Mayo de 2013. IPNI Cono Sur y Fertilizar AC.

Salvagiotti, F. (2010) Nitrógeno y azufre: sinergismo entre dos nutrientes. *Revista Trigo. Para mejorar la producción*. 43. 53-56

Santarcángelo, J. y J. Fal. 2009. *Production and profitability in livestock in Argentina, 1980–2006*. *Mundo Agrario* 10(9)

SCIT: Servicio de Catastro e Información Territorial. <http://mapas.santa-fe.gov.ar>

Seitzinger, S.P. y Kroeze, C. (1998); *Global distribution of nitrous oxide productions and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems*. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 11, pp. 93-113.

Sharma, J.C. y Sharma, Y. (2004). *Nutrient cycling in forest ecosystems; a review*. *Agricultural Reviews*. 25 (3): 157-172

Sharpley, A. (2010). *Manejo de fósforo en sistemas de producción agrícola ambientalmente sustentables: desafíos y oportunidades*. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 46.1-9.

Sjögersten, S., C. R. Black, S. Evers, J. Hoyos-Santillan, E. L. Wright y B. L. Turne (2014). *Tropical wetlands: A missing link in the global carbon cycle?*. *Global Biogeochemical Cycles*. Volume 28, Issue 12, pages 1371-1386.

SIIA. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. <http://www.siiia.gov.ar/>

Smil, V. (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the transformation of world agriculture*. The MIT Press. Cambridge, USA.

Stevenson, F. (1986). *Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. Estados Unidos : A Wiley- Interscience publication.

Sunkel, O. (compilador). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina / Selección de Osvaldo Sunkel y Nicolo Gligo*. México: Fondo de Cultura Económica, 1980. 663 páginas. 2 volúmenes.

Tarback, E., Lutgens, F.K. y Tasa, D.(2013). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Pearson Educación. Madrid. 880 pp.

Teruggi, M. (1957). *The nature and origin of Argentine loess*. *J. Sed. Petrol.* 27 (3): 322-332.

Teruggi M. (1955). *Algunas observaciones microscópicas sobre vidrio volcánico y ópalo organógeno en sedimentos pampeanos*. *Notas del Museo de La Plata. Geología*, tomo XVIII, No. 66. La Plata.

Toledo, V. (2008). *Metabolismos rurales: hacia una teoría económica-ecológica de la apropiación de la naturaleza*. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 7.1-26.

Troeh, F y Thompson, L. (1993). *Soils and soil fertility*. Nueva York: Oxford University Press.

Tucker, A. y otros. 2014. *The global resource footprint of Nations*. Disponible en http://www.truthstudio.com/content/CREEA_Global_Resource_Footprint_of_Nations.pdf

UNEP. Resource Panel. 2011. *Assessing Mineral Resources in Society: Metal Stocks&Recycling Rates*. Disponible en www.unep.org/resourcepanel

UNEP. Resource Panel. 2014. *Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply (Evaluación del uso de la tierra mundial: equilibrar el consumo con la oferta sostenible)* – Disponible en www.unep.org/resourcepanel

UNSD (División de Estadísticas de las Naciones Unidas). 2009. *Commodity trade database (COMTRADE)*. Washington, DC: United Nations. <http://comtrade.un.org/>.

USDA. United States Department of Agriculture.(2010). *Claves para la taxonomía de suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

Vallejo, M. C. 2010. *Biophysical structure of the Ecuadorian economy, foreign trade, and policy implications*. *Ecological Economics*, 70(2): 159-169.

Vallejo, M. C., Pérez Rincón, M. A. y Martínez-Alier, J., 2011. *Metabolic Profile of the Colombian Economy from 1970 to 2007*. *Journal of Industrial Ecology*, 15(2): 245–267.

Ventimiglia, L. (1999). *Exportación de nutrientes en campos agrícolas*. En el sitio agrícola. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/ventimiglia/Exportacion%20de%20Nutrientes%20en%20Campos%20Agricolas.asp>

Vlek, Paul L.G., Kühne, R.F. y Denich, M. (1997): *Nutrient resources for crop production in the tropics*. En: *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 352, pp. 975-985.

Viglizzo, E. (1995). *La sustentabilidad en agricultura. ¿cómo evaluar y medir?*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 26.1-15.

Viglizzo, E. y Jobbagy, E. (Eds.). (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

Walter, M. y otros (2013). *Análisis de flujo de materiales de la economía Argentina (1970-2009)*. *Tendencias y Conflictos extractivos*. *Ecología Política*.

West, J. y Schandl, H., 2012. *Material use and resource productivity in Latin America and the Caribbean*. CSIRO, Australia.

Yamada, T. (2004). *Deficiencia de micronutrientes, ocurrencia, detección y corrección: “El éxito de la experiencia brasilera”*. *Informaciones Agronómicas*. Disponible en <http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/catalog?ReadForm&cat=K>

Acrónimos

AAPRESID – Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa

AACREA - Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola

AGRA - Alianza para una revolución verde en África

GEPAMA – Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente

INTA – Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

INTI – Instituto Nacional de Tecnología Industrial

LTER – Long-Term Ecological Research

NutNet – Nutrient Network

UBA – Universidad de Buenos Aires

UNGS – Universidad Nacional de General Sarmiento



HEINRICH BÖLL STIFTUNG

Cono Sur



Heinrich Böll Stiftung
La Fundación Política Verde

D Av. Francisco Bilbao 882, Providencia, Santiago, Chile
T (+56 2) 2 58 40 172 **E** info@cl.boell.org / **W** www.cl.boell.org