

Indicadores de sustentabilidad en Tambos



1- Visión de sustentabilidad y servicios ecosistémicos



2- Indicadores, escalas jerárquicas, tipos de datos necesarios, panel de control



3- Construcción de indicadores- Redes causales



Gervasio Piñeiro

Instituto de Transiciones Sostenibles de los Sistemas Alimentarios



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Prorectorado
de Investigación



¿Productores en donde?

- En ecosistemas!!!

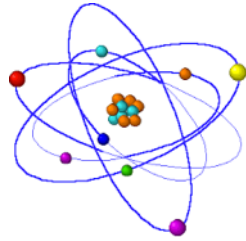
- No olvidar que ecosistemas y agroecosistemas tiene reglas ecológicas importantes
 - Relación biodiversidad - estabilidad
 - Ley de conservación de las masas
 - Selección natural- Evolución



Ecosistemas

AGRO-ECOSISTEMAS - COMPUESTOS POR:

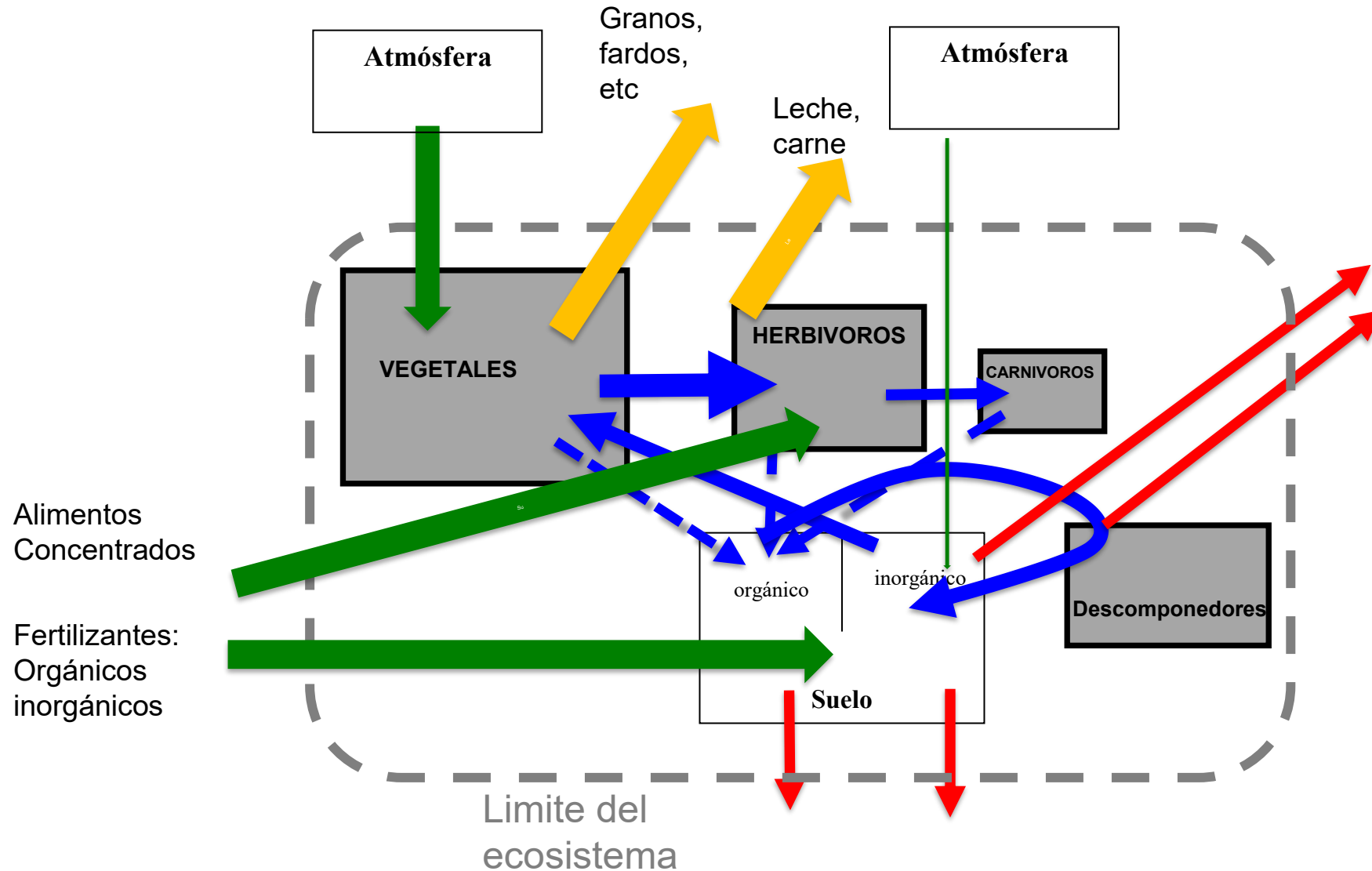
-MATERIA



-ENERGÍA

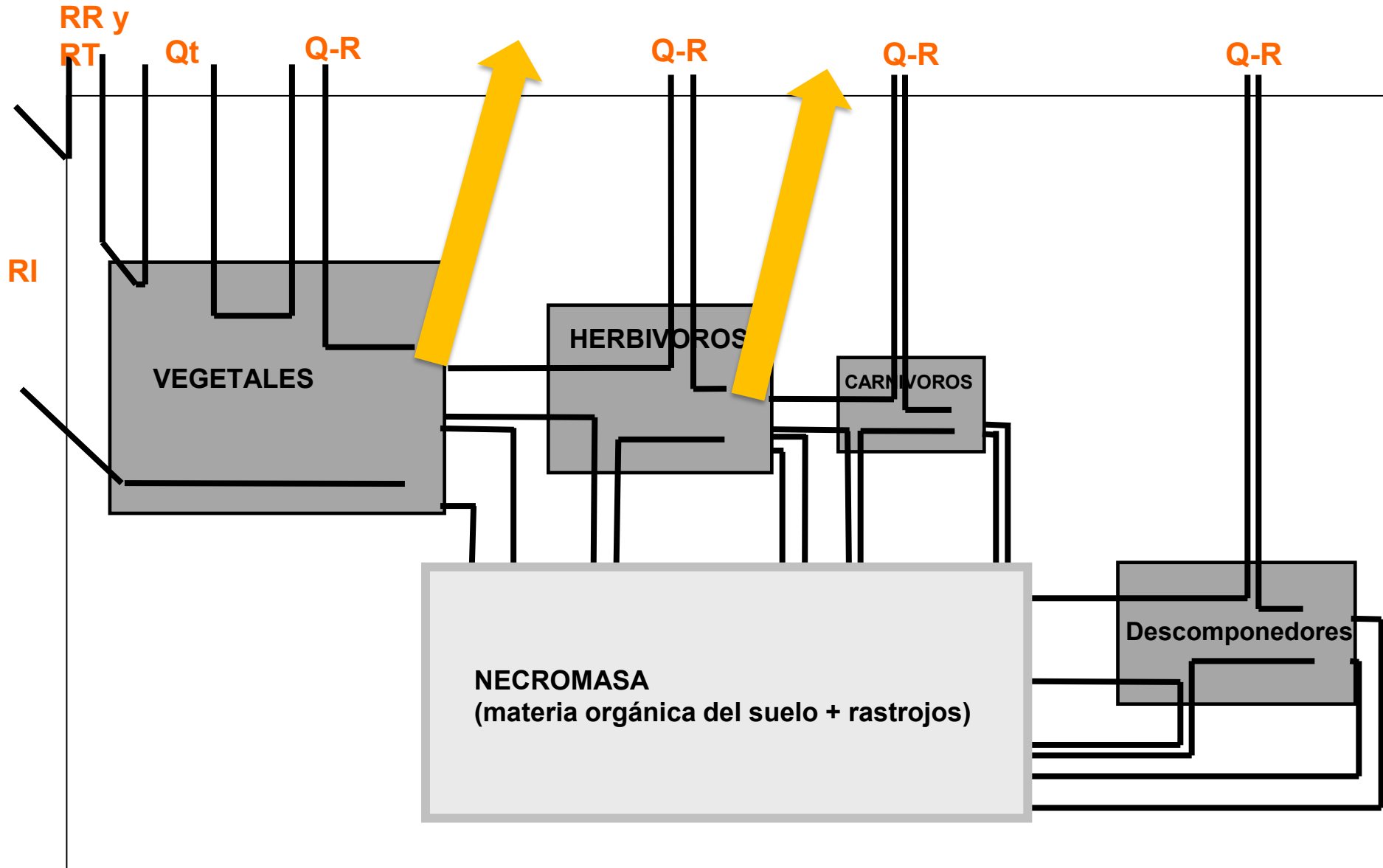


CICLO DE LA MATERIA- EN EL AGROECOSISTEMA



Tenemos que disminuir al máximo flechas rojas

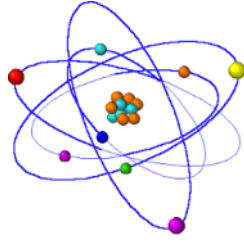
FLUJO DE ENERGÍA EN UN ECOSISTEMA



Tenemos que dejarle energía al ecosistema para que funcione.

ECOSISTEMAS - COMPUESTOS POR:

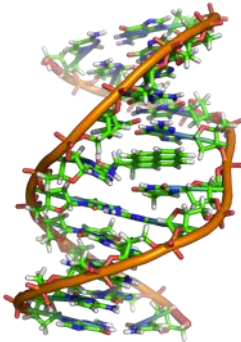
-MATERIA



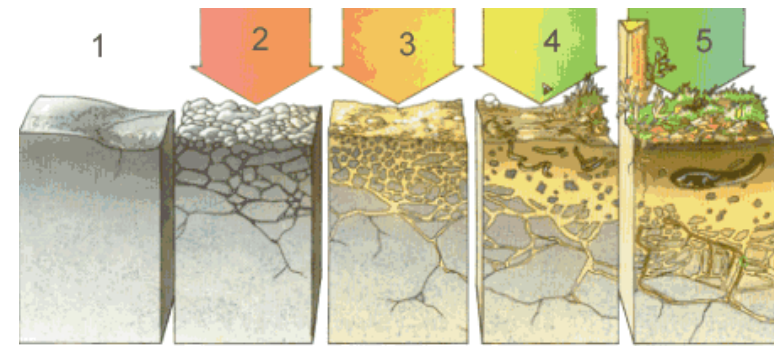
-ENERGÍA



-INFORMACIÓN

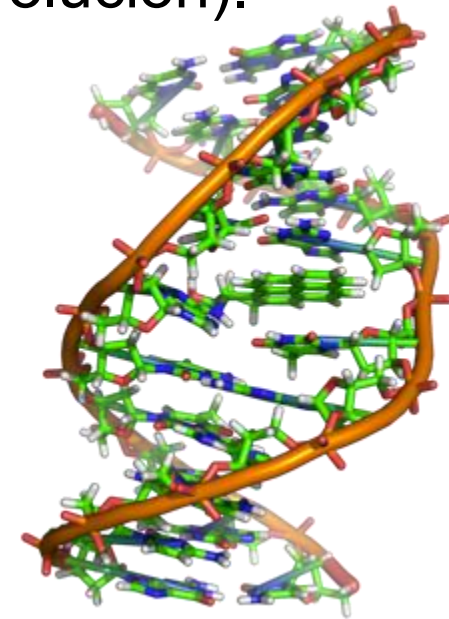


INFORMACIÓN

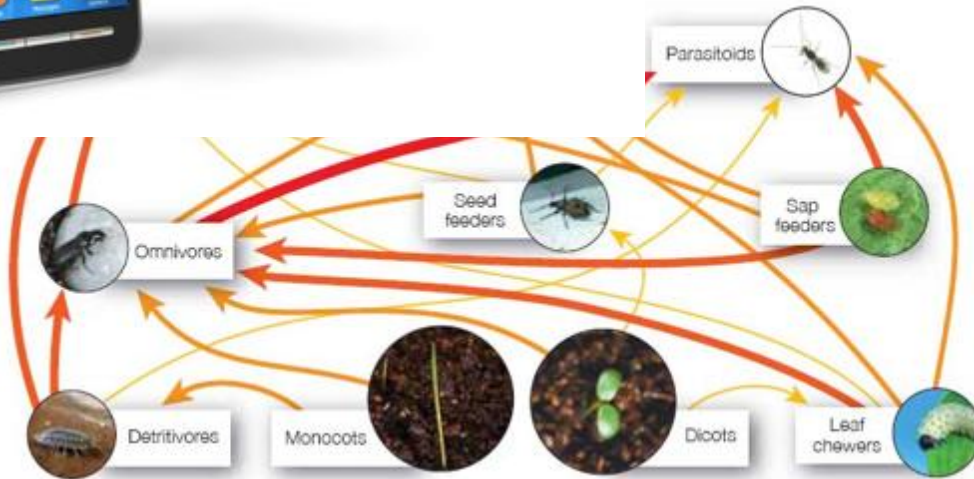


en ADN, resultado de la evolución).

Los-redes de interacción
suelo

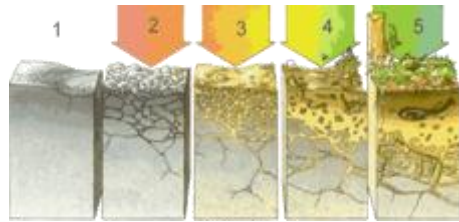


Estructura: es reflejo de la organización-
información que tiene el sistema.

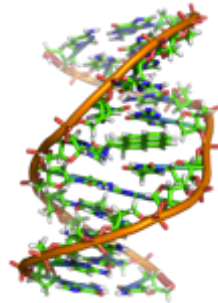


Tenemos que pensar muy bien que información agregamos o sacamos del sistema.

Agroecosistemas



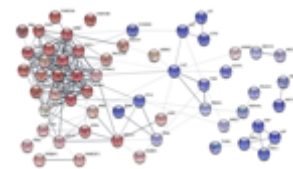
Pedogénesis



ADN



Diversidad



Interacciones



Moléculas



Manejos



¿Qué producimos?

Servicios de aprovisionamiento: Leche, carne, maíz, soja, trigo, etc.,

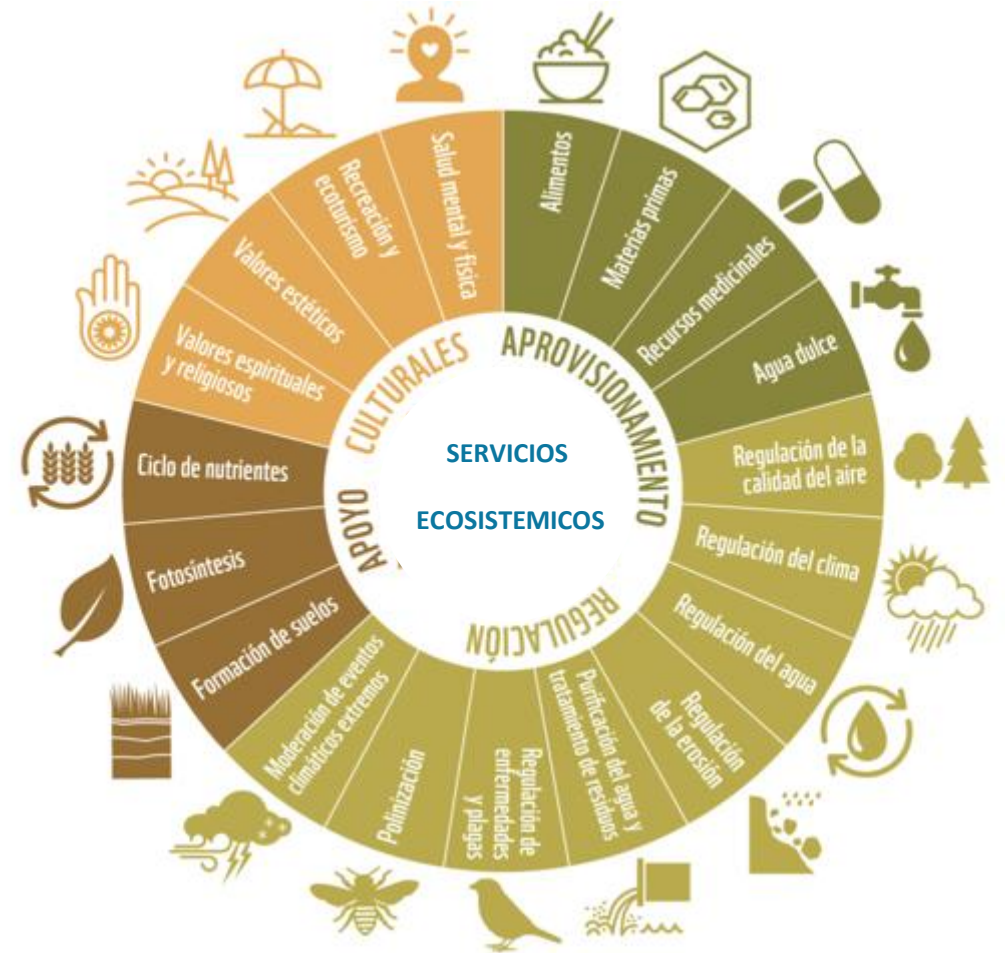
- Pero también- otros... Servicios Ecosistémicos.



- Servicios ecosistémicos de regulación y soporte
 - Regulación de Nitrógeno- Fosforo, etc
 - Regulación del ciclo del agua-inundaciones
 - Regulación de plagas y enfermedades - benéficos
 - Regulación del Clima- Gases de efecto invernadero

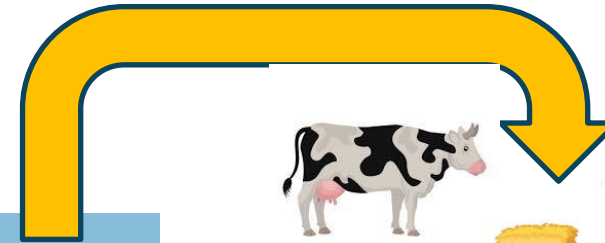


Cosechando Ecosistemas no solo plantas o vacas





Flujo de la energía en el agroecosistema



Servicios de Abastecimiento



**Objetivos Múltiples de
producción**

*Energía para brindar Servicios
de regulación y Soporte*

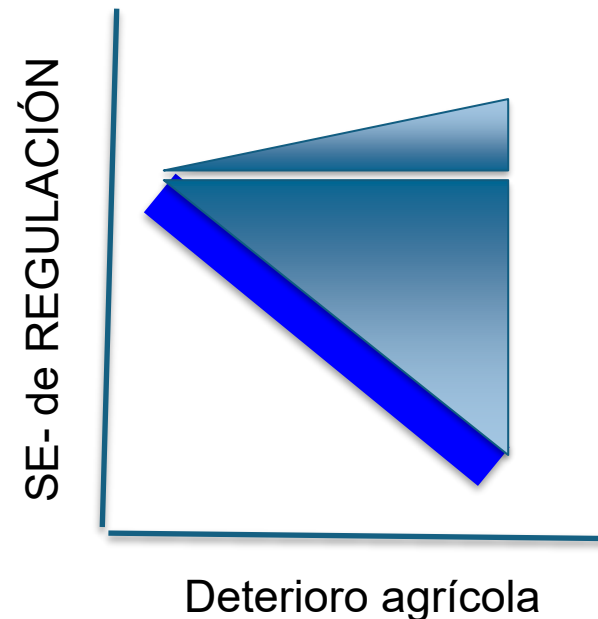


- Formación de materia orgánica
- Control de la erosión
- Descompactación
- Control de malezas

- Polinizadores
- Control de plagas y enfermedades
- Regulación de napas e inundaciones

No mantener los servicios de Regulación y Soporte produjo:

- ❑ Deterioro ambiental- **Pérdida de autorregulación**
- ❑ Necesidad de insumos para suplir el deterioro y mantener producción.
- ❑ Cada vez mas insumos- ejemplos fertilización, malezas, etc..



Reposición con insumos y agregado de subsidios energéticos

Deterioro agrícola y Servicios ecosistémicos

- Revolución verde produjo deterioro del ecosistema y disminución en la provisión de servicios ecosistémicos de REGULACIÓN y SOPORTE
- Servicios ecosistémicos a escala:
 - **Local:** afectan directamente la producción agrícola (fertilidad del suelo, estructura del suelo; erosión, retención de agua disponible en el suelo, control de malezas, control de plagas y enfermedades, regulación de temperatura del suelo, profundidad de napas, etc.)
 - **Regional** (regulación de nitratos en napas, purificación de agua, reducción de contaminantes, control de inundaciones, etc)
 - **Global** (gases de efecto invernadero, biodiversidad, etc).



Afectan a la propia producción

Afectan a la comunidad

Afectan a tod@s

Visiones posibles sobre manejo de agroecosistemas

El Paradigma Actual






Objetivo único: Producción de alimentos y parches ambientales para disminuir externalidades

- Enfoque reduccionista
- Alto uso de insumos
- Baja diversidad/información
- Bajo uso de tecnologías de procesos
- Visión de corto plazo



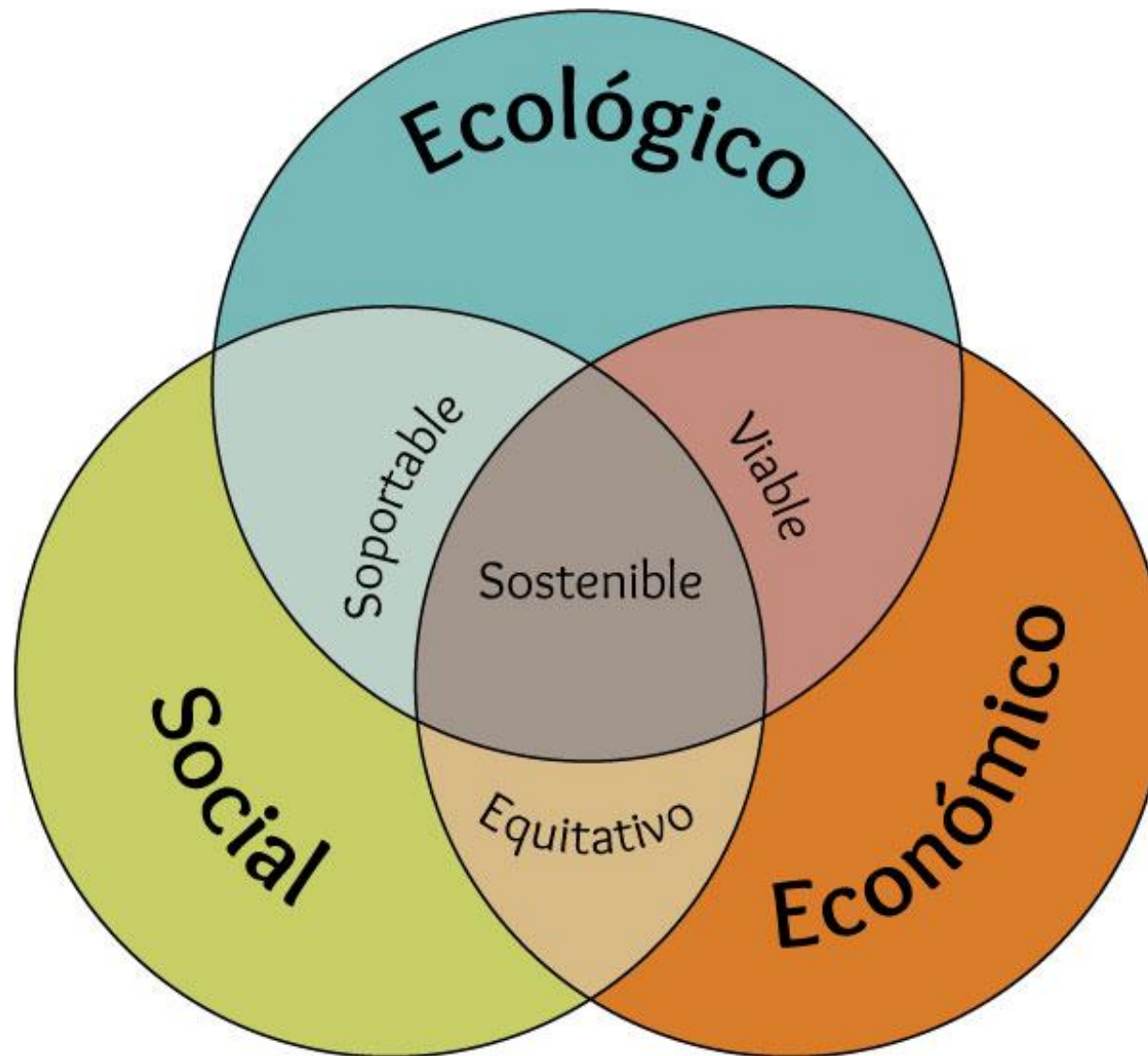
El nuevo Paradigma

Objetivos múltiples: Producción de servicios ecosistémicos de abastecimiento, culturales y de regulación y soporte.

- Enfoque sistémico 
- Uso racional de insumos 
- Mas diversidad/información 
- Mas uso de tecnologías de procesos 
- Visión de mediano plazo 



Dimensiones de la Sustentabilidad



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y SUS BENEFICIOS

Servicios de Abastecimiento



Servicios de Regulación



Servicios Culturales



Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005)



Tipo de Indicadores Ambientales



Jerarquías de indicadores

Tipos de datos necesarios:

- Indicadores que se calculan con datos que están en la planilla de gestión
- Indicadores que se calculan a partir de datos satelitales
- Indicadores que se calculan a partir de alguna medición u observación de campo

Panel de control a escala de establecimiento

Panel de control de empresa láctea

Panel de indicadores a nivel País-INALE, etc

Ejemplos de indicadores con alto potencial de aplicación

Dimensiones	Indices / herramientas	Potrero	Establecimiento	Paisaje
Balance y circularidad de nutrientes	Mapas digitales de nutrientes			
	Varios indices de GEI			
	Varios indices de balance de nutrientes			
Biodiversidad, integridad ecológica y Servicios Ecosistémicos	Integridad ecológica "IIE" (Blumetto et al 2019)			
	Conservación de pastizales "ICP" (Parera y Carriquiri 2014)			
	Conservación de ecosistemas "EREC" (Vida Silvestre)			
	Macroinvertebrados (Hurtado et al 2024)			
	Conservación del paisaje (CHALPA 2025 . Vida Silvestre) ??			
	Indicadores sinópticos de desempeño ambiental (Paruelo et al. 2024)			
	INVEST (mapeo de servicios ecosistémicos)			
Caracterización de los co-productos	“Indicadores de riesgo” (MST, patógenos) nos dicen si el efluente puede contener microorganismos de riesgo sanitario.			
	“Indicadores de resistencia” (ARG + intl1) muestran si hay ARGs y el potencial de que esa resistencia se propague a otros organismos.			
	“Indicadores de ciclado de nutrientes” (genes N y P) nos dicen si el riego con efluente potencia o altera procesos clave (nitrificación, desnitrificación, disponibilidad de P).			
	“Indicadores de biodiversidad” (16S/ITS) muestran si la comunidad se estabiliza o se desbalancea.			

Cuadro 1. Indicadores de desempeño ambiental y su asociación con las dimensiones de la Agroecología.

ID	Indicadores	1. Biodiversidad	2. Reducir aplicaciones productos químicos	3. Mantener o restaurar áreas naturales	4. Uso eficiente de recursos naturales	5. Preservar procesos naturales, reciclar, reutilizar	6. Diversidad de hábitats	7. Integrar prácticas en el paisaje	8. Una sola salud	9. Participación y entrenamiento de los productores	10. Intercambio de saberes	11. Desarrollo territorial	12. Acercar la producción a los consumidores	13. Inocuidad	14. Reducir emisiones GEI
1	Compactación y densidad aparente (DAP)														
2	Pérdida de suelo USLE/RUSLE (ErSuelo)														
3	Pérdida de P por escurrimiento y erosión (P-index)														
4	Balance aparente de nutrientes (BalNut)														
5	Acidez del suelo (pH)														
6	Potencial de mineralización de nitrógeno (PMN)														
7	Índice de proteína del suelo (ProtSue)														
8	Eficiencia de uso de N (EUN)														
9	Carbono orgánico en el suelo (COS)														
10	Carbono lábil (carbono activo, carbono potencialmente oxidable (CLab)														
11	Respiración del suelo (ResSue)														
12	C potencialmente acumulable (CpAc)														
13	Stocks y emisiones netas COS (dStockC)														
14	Emisiones de metano (ECH ₄)														
15	Emisiones de óxido nitroso (EN ₂ O)														
16	Índice de patogenicidad del suelo (IPSue)														
17	Carga de fitosanitarios (índice de cantidad y toxicidad) (RIPEST)														
18	% hábitat naturales (pastizales naturales, humedales, montes) (HabNat)														
19	Cobertura de bosque nativo (BQNat)														
20	Grado de conservación de monte nativo (ConBQ)														
21	Diversidad de tipos de cobertura (DivTC)														
22	Biodiversidad específica de taxas seleccionados (BioSp)														
23	Índice de integridad ecosistémica (IIE)														
24	Índice de Contribución a la Conservación (ICP)														
25	Índices de Paisaje (PAI)														
26	Calidad de agua de escurrimiento (CaAg)														
27	Eficiencia en el uso del agua (EUA)														
28	Huella del agua (WaterF)														
29	Rendimiento hidrológico (RH)														
30	Análisis Ciclo del Vida (LCA)														
31	Modelos de Estados y transiciones (MET)														
32	Diversidad de tipos funcionales de ecosistemas (TFE)														
33	Índice de Oferta de Servicios ecosistémicos (IOSE) y tendencia IOSE (tIOSE)														
34	Apropiación Humana de la Productividad Primaria Neta (AHPPN)														
35	Eficiencia Energética /Análisis Energético (EfEner)														
36	Nivel Genético Productivo y Ambiental de bovinos y ovinos (Gen)														



INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL PARA SISTEMAS AGROPECUARIOS DEL URUGUAY

Manual de evaluación de Sistemas Lecheros Familiares a través de indicadores de sustentabilidad



Montevideo, Uruguay
2008

AGRO- ECOLÓGICA	FUENTES DE AGUA	Riesgo de contaminación de aguas profundas	<ul style="list-style-type: none"> - Fuentes de contaminación - Mantenimiento de la zona cercana - Acceso de animales - Estado de la estructura
	EFLUENTES	Riesgo ambiental por efluentes	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de vacas - Riesgo de contaminación
	SUELOS	USLE	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo y uso de suelo
	BIODIVERSIDAD	Manejo de monte nativo	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de monte nativo - Uso del monte
		Manejo de campo natural bajo	<ul style="list-style-type: none"> - Estado de conservación/degradación
	AGROQUIMICOS	Prevención personal	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de medidas
		Condiciones ambientales para la aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento y uso
		Manejo de lavado y carga del producto	<ul style="list-style-type: none"> - Lugar de lavado y carga
		Manejo de los envases	<ul style="list-style-type: none"> - Lavado y destino

Redes Causales para selección de indicadores ambientales



Pablo Chilibroste, Andrés Ligrone
Felipe García, Matías Giménez,
Gabriel Menegazzi Conceição, Sofía Stirling
Jorge Artagaveytia, Laura Capuccio
Tomás López, Daniela Escobar
Lourdes Adrien, Gabriel Giudice
Yoana Dini, Vivi Bondaruk
Gastón Ortega, Magdalena Gil
Daniel Talmón, Gervasio Piñeiro
Johan Duke, Claudia Simon
Lucía Boccardi, Tomás Della Chiesa



Breve repaso del marco conceptual para la selección de indicadores ambientales

ECOLOGICAL INDICATORS 8 (2008) 14–25



available at www.sciencedirect.com



journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



A conceptual framework for selecting environmental indicator sets

*David Niemeijer**, *Rudolf S. de Groot*¹

Environmental Systems Analysis Group, Department of Environmental Sciences, Wageningen University, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

Todas las categorías se relacionan con una lógica de causalidad

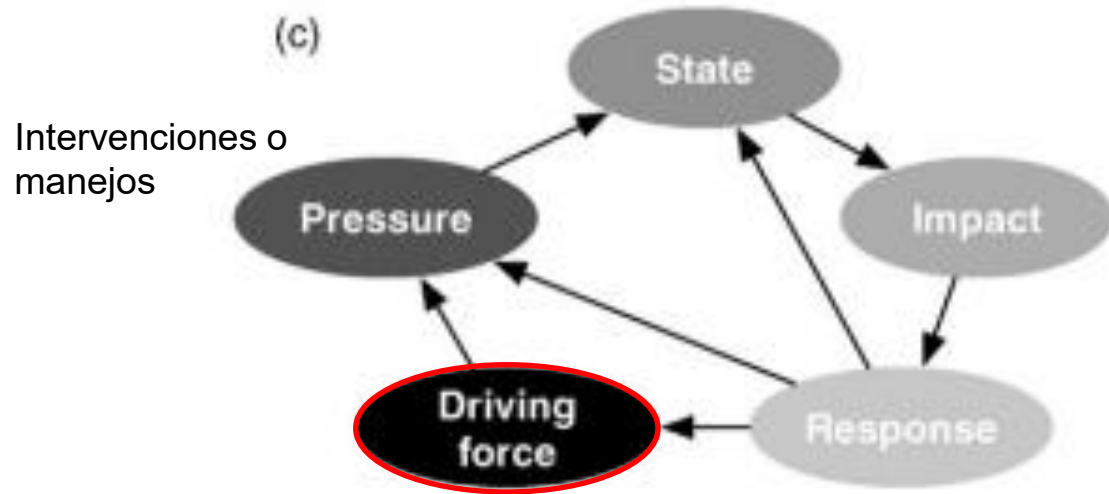


Fig. 1 – The (a) PSR, (b) DSR, and (c) DPSIR frameworks.

Se busca inferir una red donde los conceptos propuestos para las diferentes categorías se unen por relaciones de causalidad.

Todas las categorías se relacionan con una lógica de causalidad

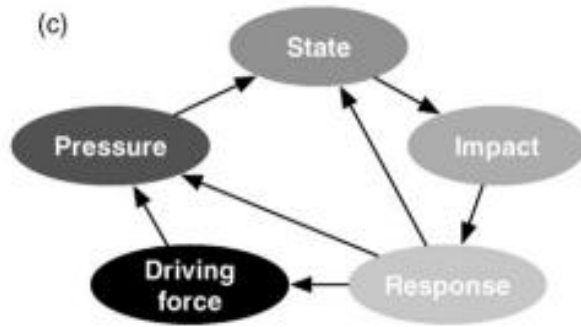
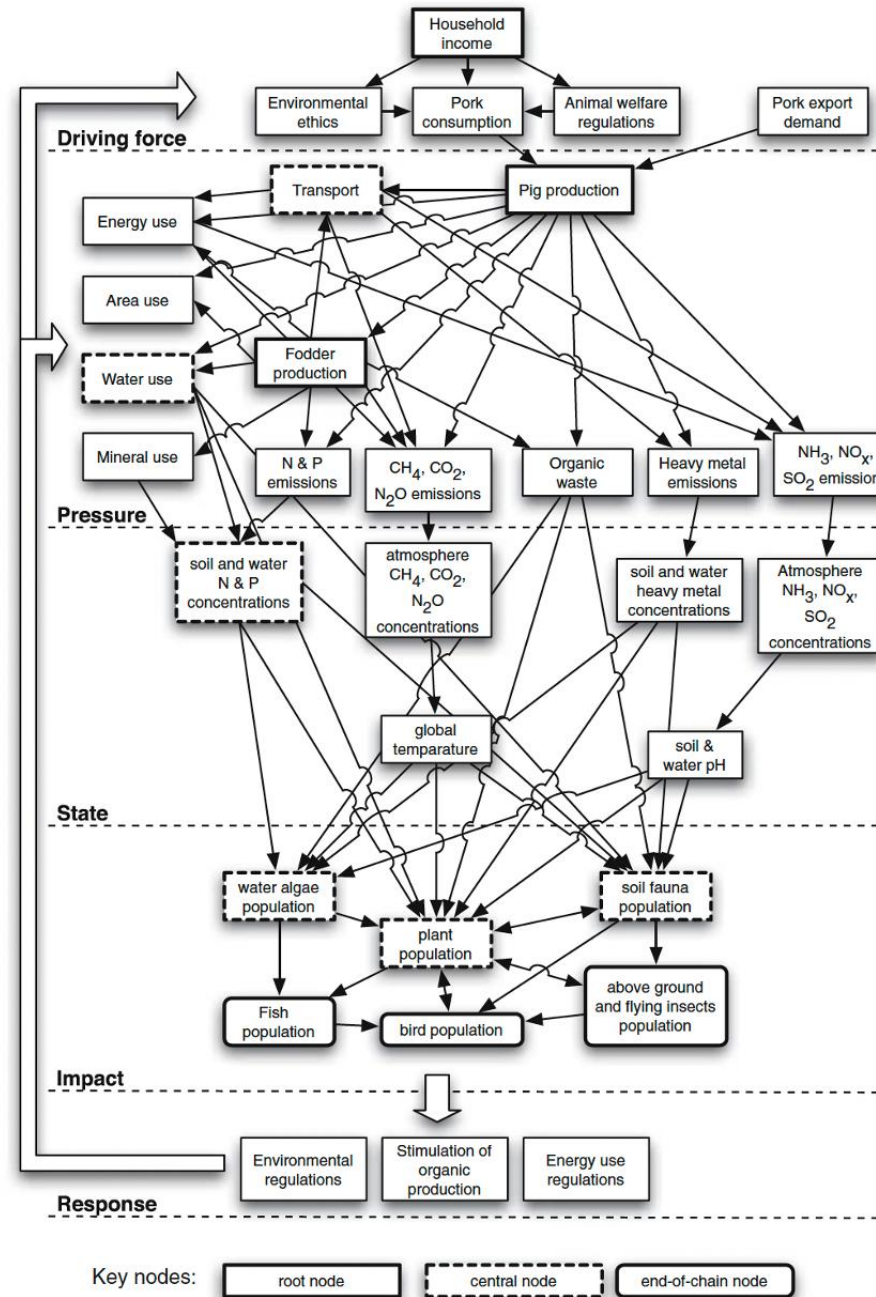


Fig. 1 – The (a) PSR, (b) DSR, and (c) DPSIR frameworks.

Se busca inferir una red donde los conceptos propuestos para las diferentes categorías se unen por relaciones de causalidad.



Sistema de indicadores

Fig. 3 A simplified causal network centred on pork production

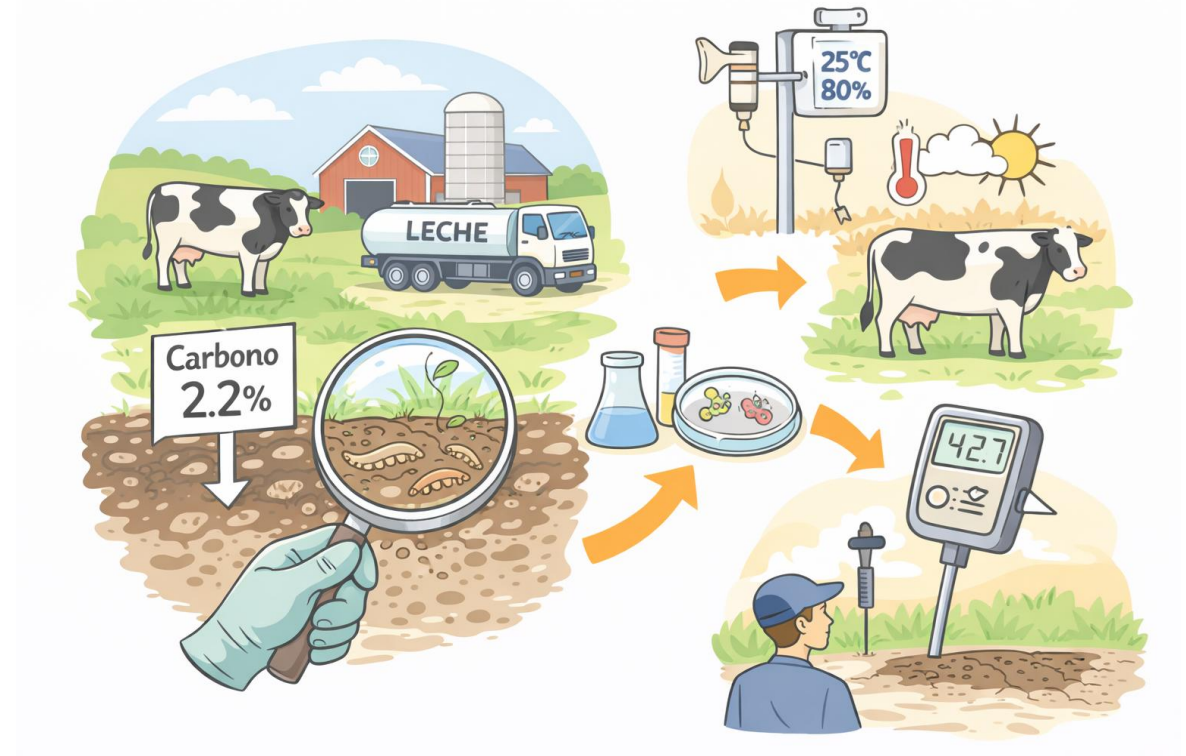
Síntesis

Fuerzas controladoras: ¿Por qué pasa?

Intervenciones: ¿Qué se hace?

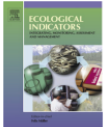
Estado: ¿Qué cambia en el sistema?

Impactos: ¿Qué problema genera?



available at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind

Pasos para la identificación inicial de indicadores

A conceptual framework for selecting environmental indicator sets

David Niemeijer*, Rudolf S. de Groot¹

Environmental Systems Analysis Group, Department of Environmental Sciences, Wageningen University, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

1. **Definir el dominio de interés:** impactos ambientales de un tambo
2. **Delimitación de contexto:** tambos en Uruguay (clima templado)
3. **Delimitación del sistema:** el predio y paisaje circundante de los tambos en Uruguay (excluye manufactura de insumos, industrialización de productos, etc.)
4. **Identificación de indicadores abstractos:** Creación de una tabla con cada categoría y los procesos que se dan en sistemas lecheros (DPSIR)
5. **Inferencia de una red causal**, identificación de sub-componentes dentro de la red (agua, suelo, aire), ponderación de nodos, identificación de loops.
6. **Determinación de nodos más informativos para llegar a indicadores adecuados**



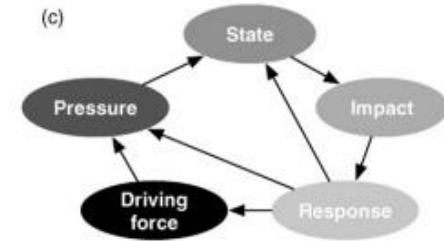
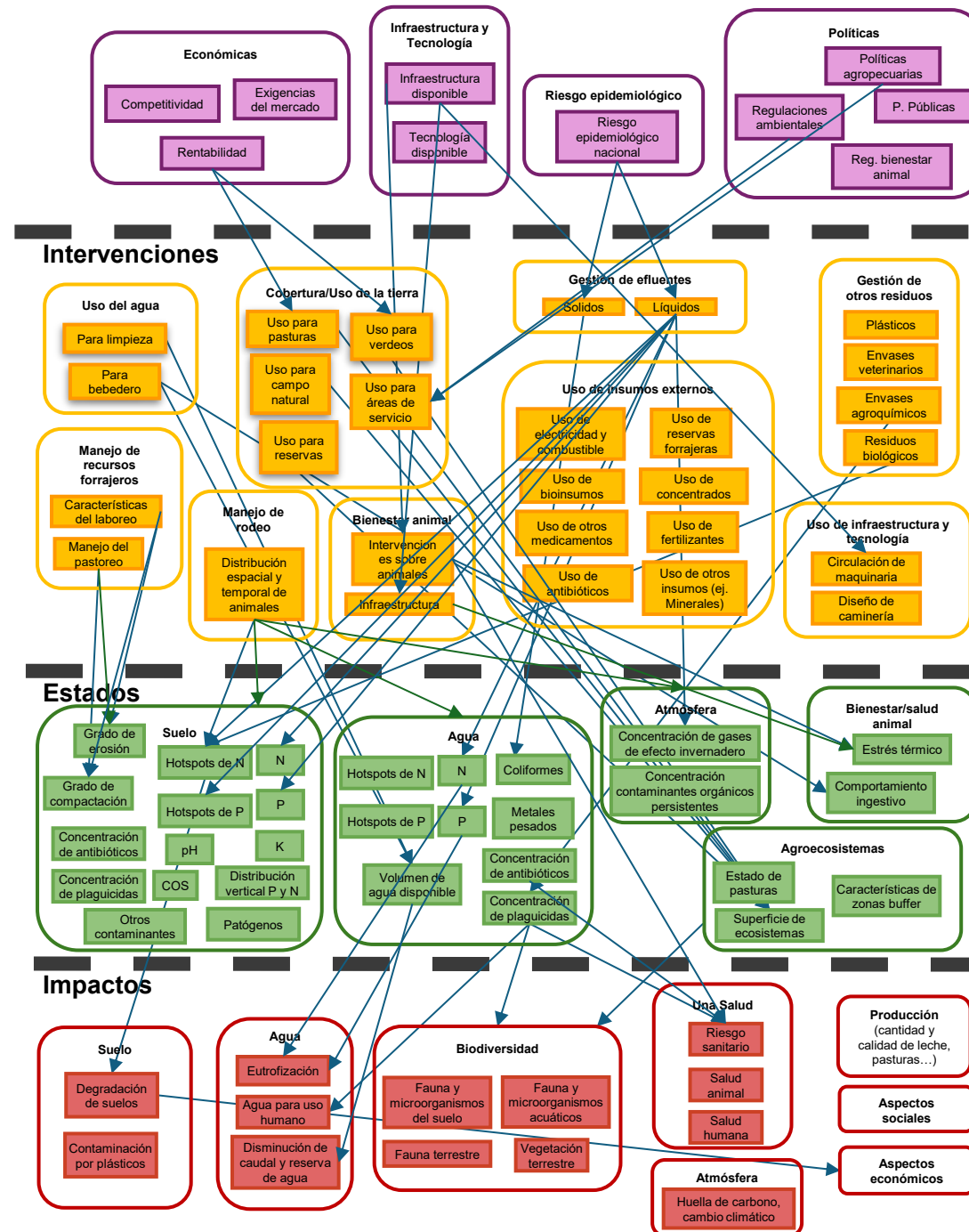
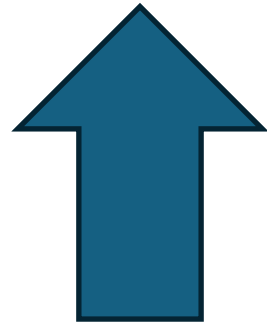


Fig. 1 - The (a) PSR, (b) DSR, and (c) DPSIR frameworks.

Fuerzas controladoras	Intervenciones	Estado	Impactos
Intensificación productiva	Aplicación de fertilizantes (N y P)	Contenido de N y P en suelo	Eutrofización de cuerpos de agua
Demanda/Precios de leche	Importación de alimento	Carbono orgánico del suelo	Afectación a fauna nativa
Políticas agropecuarias	Uso de antibióticos	Diversidad vegetal, microbiana	Riesgo sanitario (mastitis)

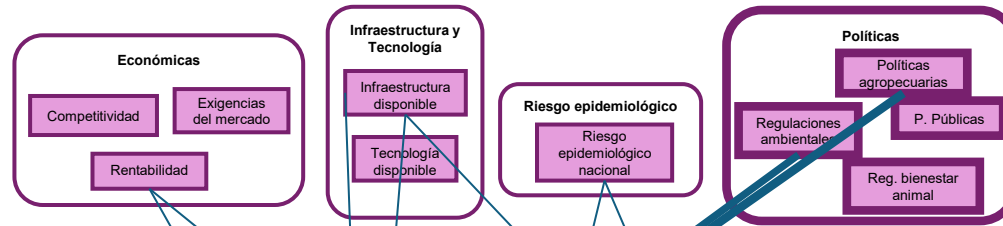
Fuerzas controladoras

5. Inferencia de una red causal, identificación de sub-componentes dentro de la red (agua, suelo, aire), ponderación de nodos, identificación de loops.

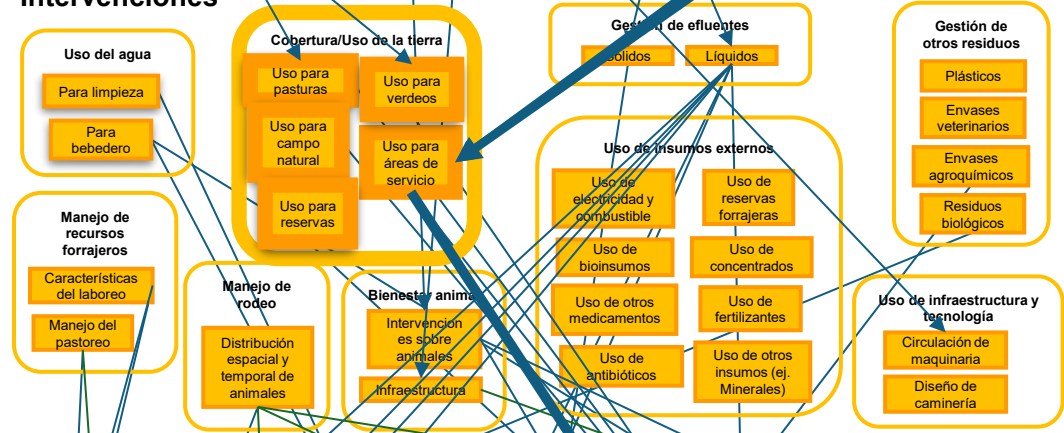


6. Determinación de nodos más informativos para llegar a indicadores adecuados

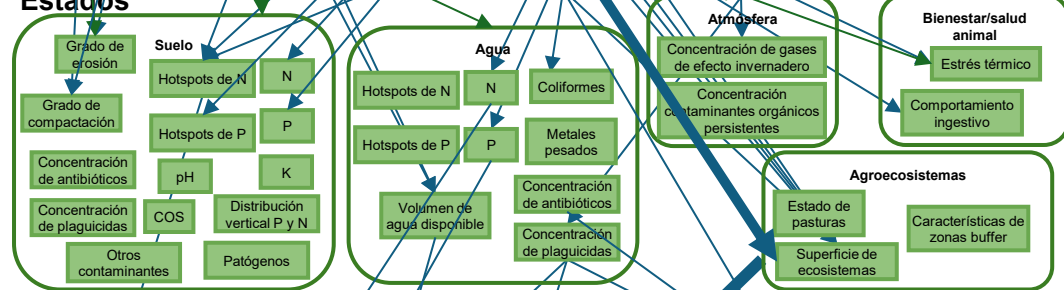
Fuerzas controladoras



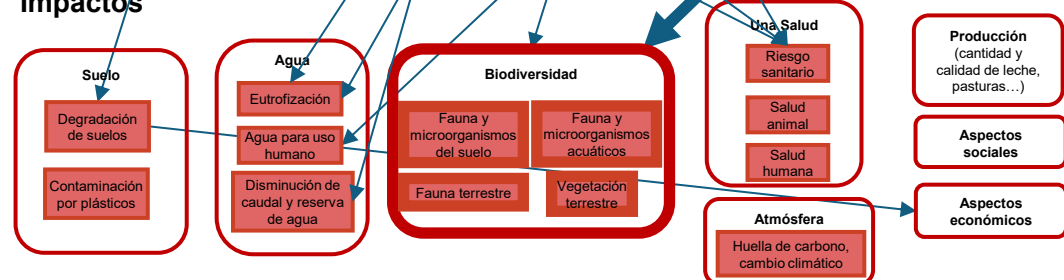
Intervenciones



Estados



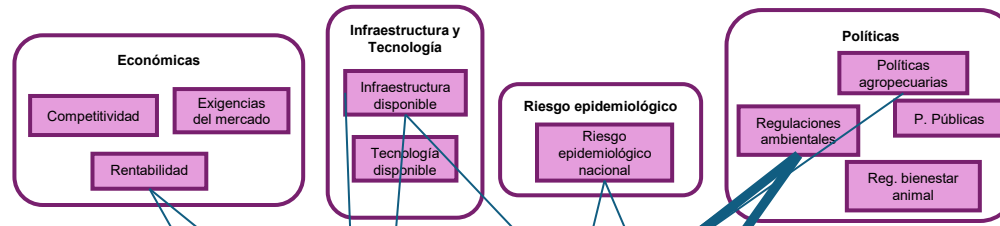
Impactos



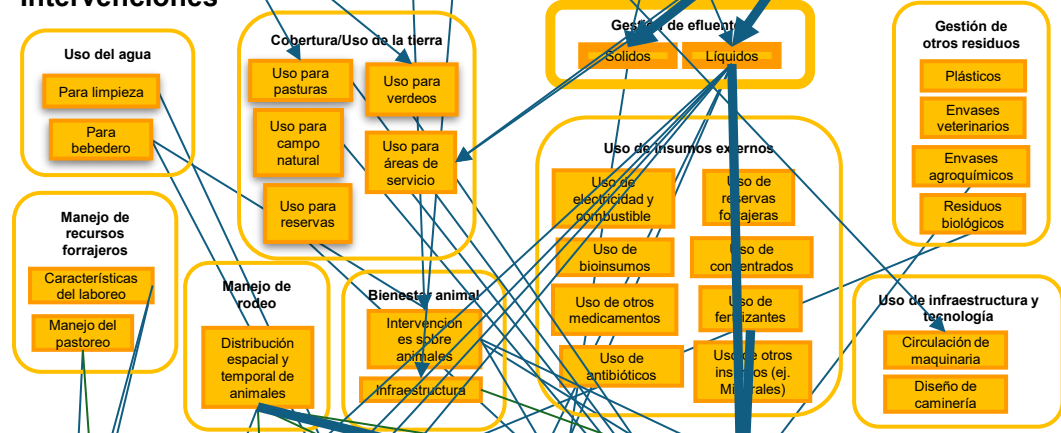
Biodiversidad



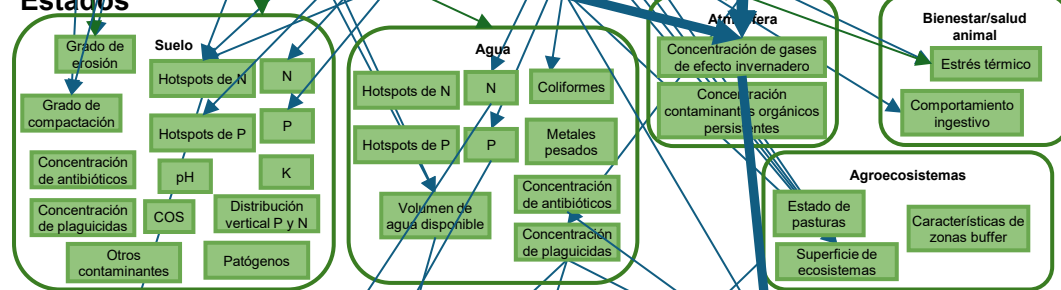
Fuerzas controladoras



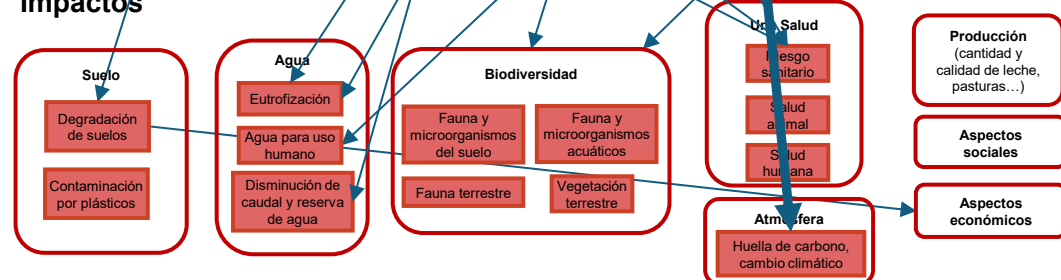
Intervenciones



Estados



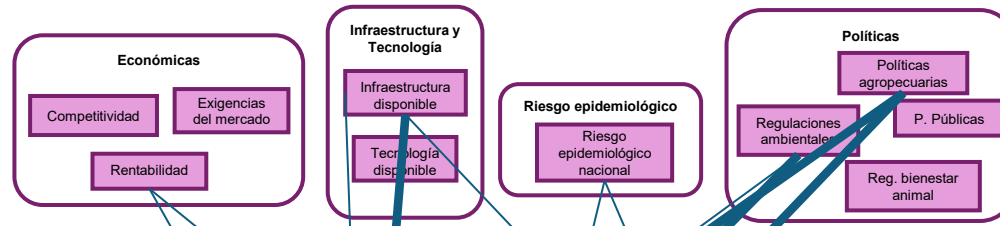
Impactos



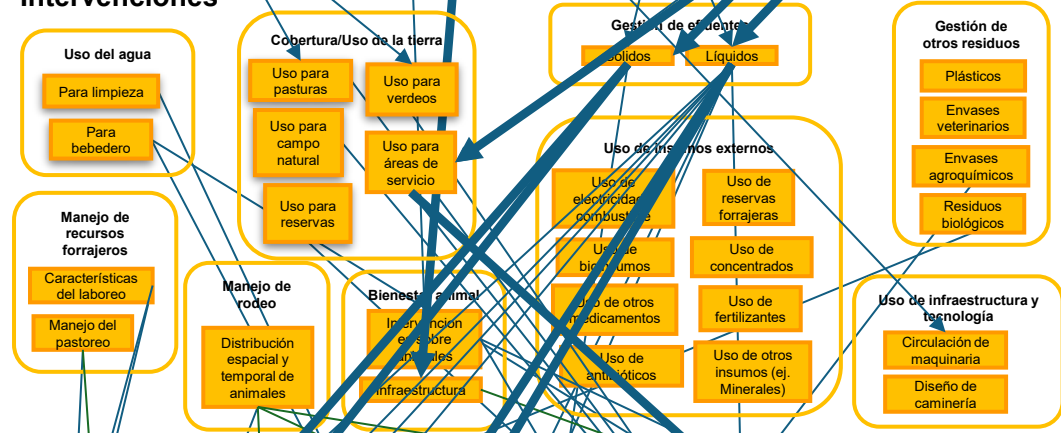
Emisión Gases de Efecto Invernadero



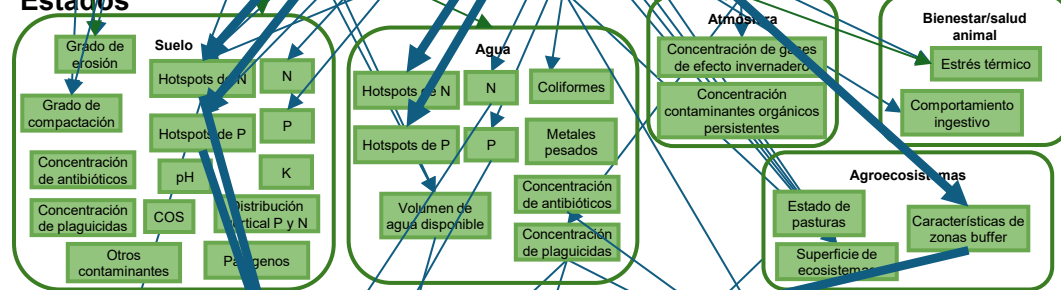
Fuerzas controladoras



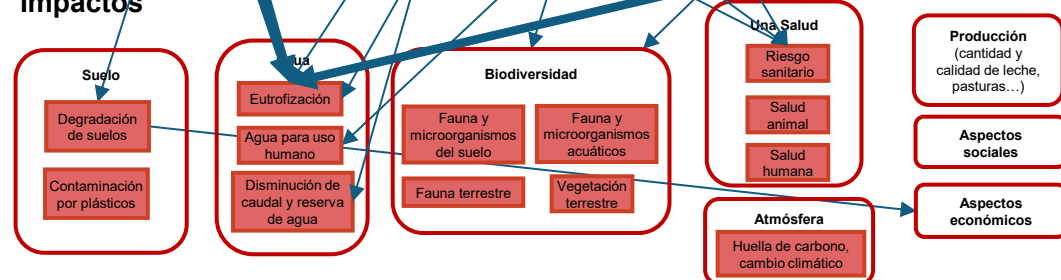
Intervenciones



Estados



Impactos



Eutrofización de cursos de agua



TABLERO DE CONTROL AMBIENTAL

Biodiversidad



**Emisión Gases
de Efecto
invernadero**



**Eutrofización de
cursos de agua**



**Conservaciones
de Suelo**



**Recirculación de
Nutrientes**



**Uso de productos
sanitarios**



?

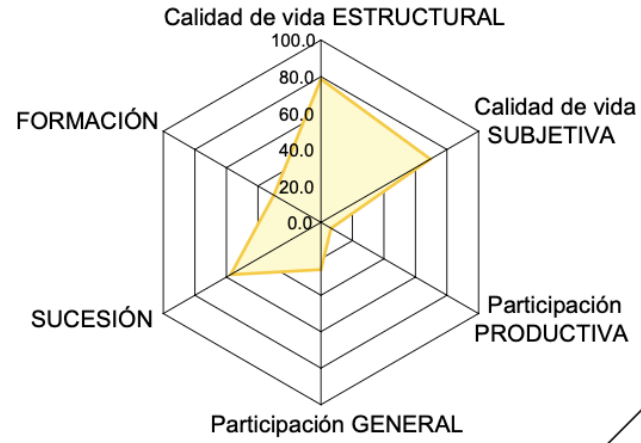
Indicadores Económicos-Productivos

Tableros de control

Indicadores Productivos 01/2025 a 12/2025	P1	P2	P3	P4	25% sup	10% Sup
	Lts Producidos	1.964.945	3.798.817	2.423.443	2.098.102	1.943.116
VM	227	470	281	247	265	247
VO	201	406	250	222	228	214
VO/VM (%)	88	86	89	90	86	87
Partos Vacas/VM %	62	77	64	59	56	59
Partos Vaquillonas/VM %	26	21	31	34	21	22
Hás VM	141	358	170	247	180	152
Hás Plataforma de pastoreo	74	291	110	115	126	107
Carga VM/Há VM	1,61	1,31	1,65	1,00	1,47	1,62
Carga VO/Há Plataforma	2,72	1,40	2,27	1,93	1,81	2,01
Lts/VO/día	26,8	25,7	26,6	25,9	23,4	24,5
Lts/há VM	13.936	10.611	14.256	8.494	10.768	12.589
Lts/Há Plataforma	26.553	13.066	22.031	18.244	15.393	17.960
Grasa promedio %	3,87	3,99	3,82	4,03	4,04	4,05
Proteína promedio %	3,68	3,75	3,45	3,65	3,66	3,66
Kg Proteína+kg grasa/há VM	1052	821	1036	653	829	970
INDICADORES DE EFICIENCIA						
Lts leche/kg MS	1,24	1,20	1,27	1,22	1,11	1,11
Kg sólidos/TON MS	94	93	92	93	85	85
grs MS concentrado/lt leche	342	311	338	325	294	291
ESTRUCTURA DE ALIMENTACIÓN						
Consumo (Kg MS/Há VM)	11236	8846	11251	6991	9716	11365
Concentrados	4530	3130	4576	2620	3165	3658
Reservas	3516	1453	2145	2151	2904	3542
Pasturas estimado	3190	4262	4530	2220	3646	4165
Pasturas KgMS/Há Plataforma	5693	4783	7170	4988	5212	5942
Indicadores ECONÓMICOS						
Margen de alimentación U\$S/há VM	3890	3400	3739	2423	2976	3539
Margen de alimentación U\$S/VM/día	6,6	7,1	6,2	6,6	5,5	6,0
Margen de alimentación U\$S/VO/día	7,46	8,28	7,08	7,62	6,58	6,99
Precio por lt/\$	17,57	17,99	16,65	17,72	17,70	17,74
Precio por lt/U\$S	0,43	0,44	0,41	0,44	0,44	0,44
Costo alimentación U\$S/lt	0,15	0,12	0,15	0,15	0,16	0,15
Costo funcionamiento U\$S/lt	0,14	0,13	0,10	0,13	0,13	0,13
Costo "total" estimado	0,29	0,25	0,25	0,28	0,29	0,28
Costo Alimentación U\$S/há VM	2141	1303	2110	1281	1708	1951
Concentrado	1495	961	1565	874	1118	1309
Reserva	400	129	277	310	304	346
Pasturas	172	179	199	79	235	228
Combustible	74	34	68	18	51	68
Precio de alimentos						
Global U\$S/ton MS	191	147	188	183	176	172
Concentrado U\$S/ton MS consumida	330	307	342	333	353	358
Reserva U\$S/ton MS consumida	114	89	129	144	105	98
Pasturas U\$S/ton MS Consumo	54	42	44	36	64	55
Relación Costo/Margen	0,55	0,38	0,56	0,53	0,57	0,55
Gastos de funcionamiento U\$S/há VM	1882	1397	1438	1107	1428	1631

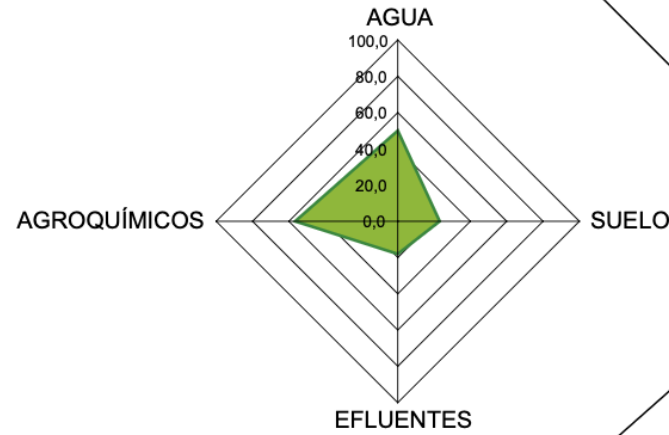
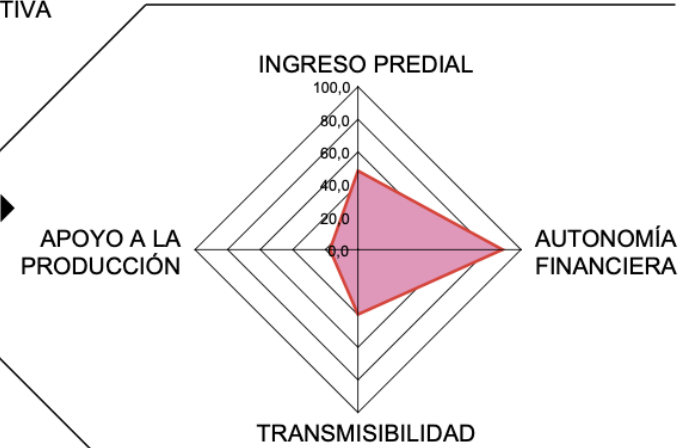


Manual de evaluación de Sistemas Lecheros Familiares a través de indicadores de sustentabilidad



◀ **Figura 2**
Indicadores de la dimensión Social
Fuente: García, R. Trabajo en elaboración.

▶ **Figura 3**
Indicadores de la dimensión Económica
Fuente: García, R. Trabajo en elaboración.

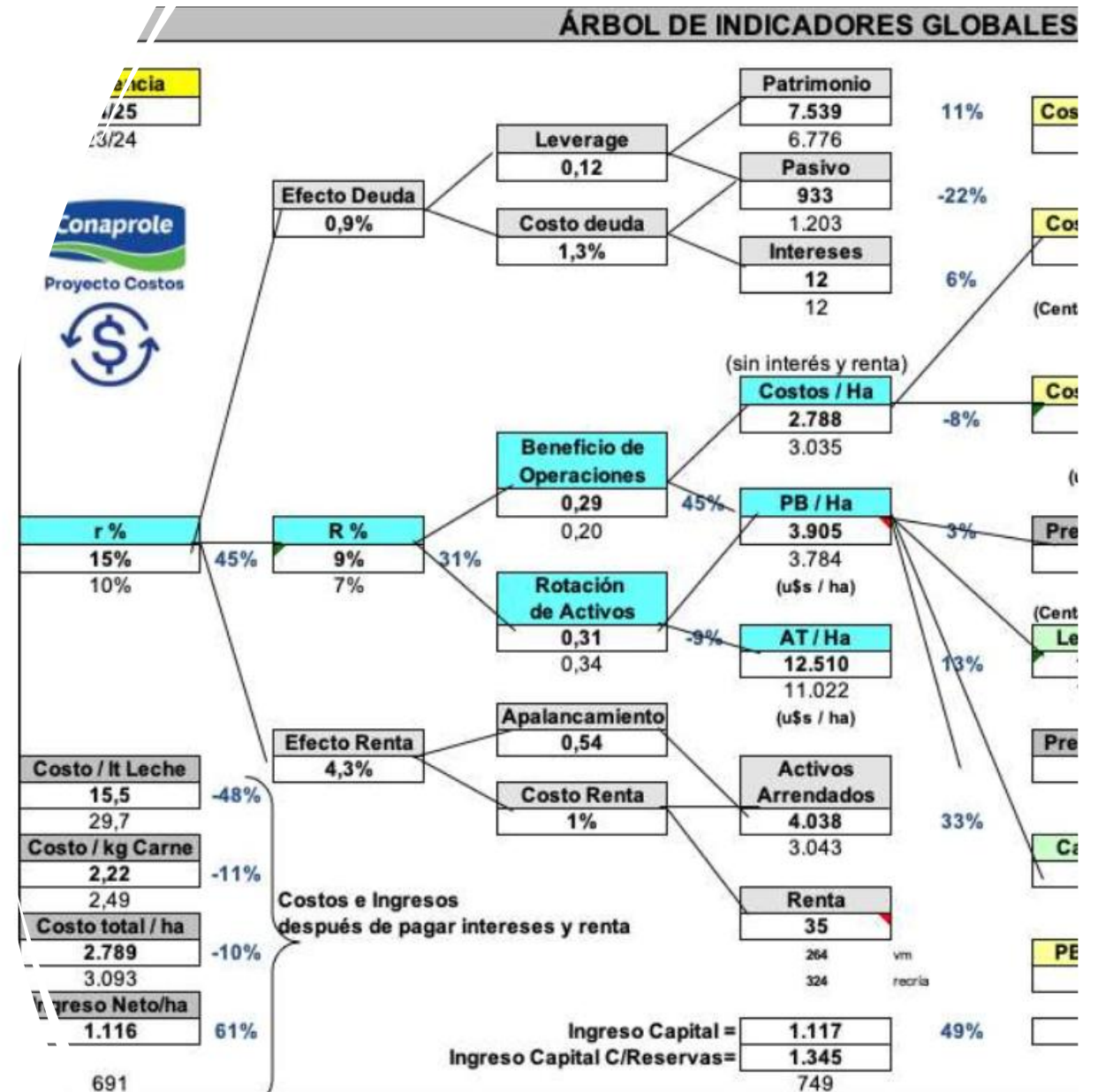


▶ **Figura 4**
Indicadores de la dimensión Agroecológica
Fuente: García, R. Trabajo en elaboración.

Arboles de Indicadores Ambientales

Para indicadores ambientales.

1. Relevancia
Representa un aspecto ambiental importante y alineado con los objetivos de evaluación.}
2. Solidez científica
Tiene una base conceptual clara y evidencia científica que respalda su relación con el proceso ambiental.
3. Sensibilidad al manejo
Responde a cambios en las prácticas productivas y permite detectar mejoras o deterioros.
4. Factibilidad de medición
Puede medirse de manera objetiva, reproducible y a un costo razonable.
5. Interpretabilidad
Es fácil de comprender y comunicar a productores, técnicos y tomadores de decisión.
6. Capacidad de seguimiento y comparación
Permite monitorear tendencias en el tiempo y comparar entre predios, regiones o sistemas.



FARM FINANCE SUSTAINABILITY

Fonterra announces new incentives for farmers to reduce emissions

FEBRUARY 18, 2025 | 6 MINUTE READ



Milk Sustainability Our brands Owned by farmers About us

FrieslandCampina dairy farmers receive over 245 million euros in premiums for their sustainability achievements in 2023



COMPANIES / ENVIRONMENT

Nestlé, Mars to Fund Incentives for Farmers to Cut Dairy Supply Chain Emissions



Mark Segal

February 18, 2025

Mensajes Finales

- **Pensar que trabajamos en ecosistemas! Recordar e incluir en el diseño los principios ecológicos!**
- **Tenemos que disminuir al máximo flechas rojas**
- **Tenemos que dejarle energía al ecosistema para que funcione.**
- **Manejos de la Información como aspecto central del manejo del ecosistema- Tenemos que pensar muy bien que información agregamos o sacamos del sistema.**
- **Múltiples servicios ecosistémicos y paisajes multifuncionales**
- **Sinergias ambientales y productivas**
- **Desarrollo de indicadores para toma de decisiones- multidimensionales!!**



Muchas Gracias!



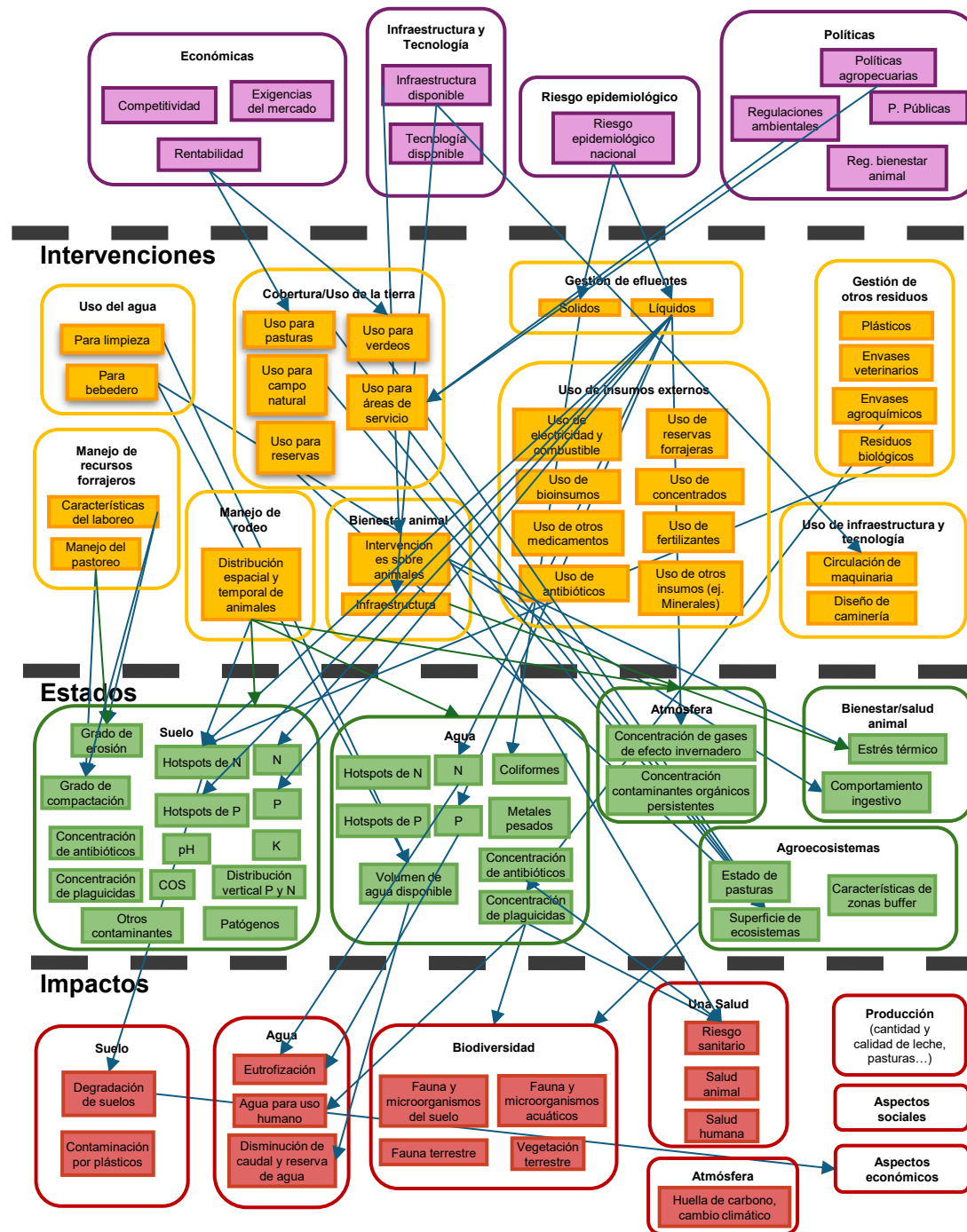
UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Prorrectorado
de Investigación



Instituto de Transiciones Sostenibles de los Sistemas Alimentarios

Fuerzas controladoras



Fuerzas controladoras (Drivers)

Son los factores estructurales o de contexto que impulsan el sistema productivo

👉 No son manejos directos, sino las razones por las cuales el sistema funciona como funciona.

Ejemplos:

- Intensificación productiva
- Demanda/Precios de leche
- Políticas agropecuarias

💡 Son las **causas de fondo** que explican por qué el productor toma **decisiones**



Fuerzas controladoras (Drivers)

Son los factores estructurales o de contexto que impulsan el sistema productivo

👉 No son manejos directos, sino las razones por las cuales el sistema funciona como funciona.

Ejemplos:

- Intensificación productiva
- Demanda/Precios de leche
- Políticas agropecuarias

💡 Son las **causas de fondo** que explican por qué el productor toma **decisiones**



Presiones (Pressures)

Manejo agronómico directo y sus efectos

Son las acciones concretas del sistema productivo que generan presiones sobre el ambiente.

👉 Acá ya entramos en manejo agronómico directo.

Ejemplos:

- Aplicación de fertilizantes (N y P)
- Importación de alimento
- Uso de antibióticos

💡 Las presiones son los manejos que el productor hace, son influidas por los drivers.



Estado (State)

Descripción de variables ambientales medibles

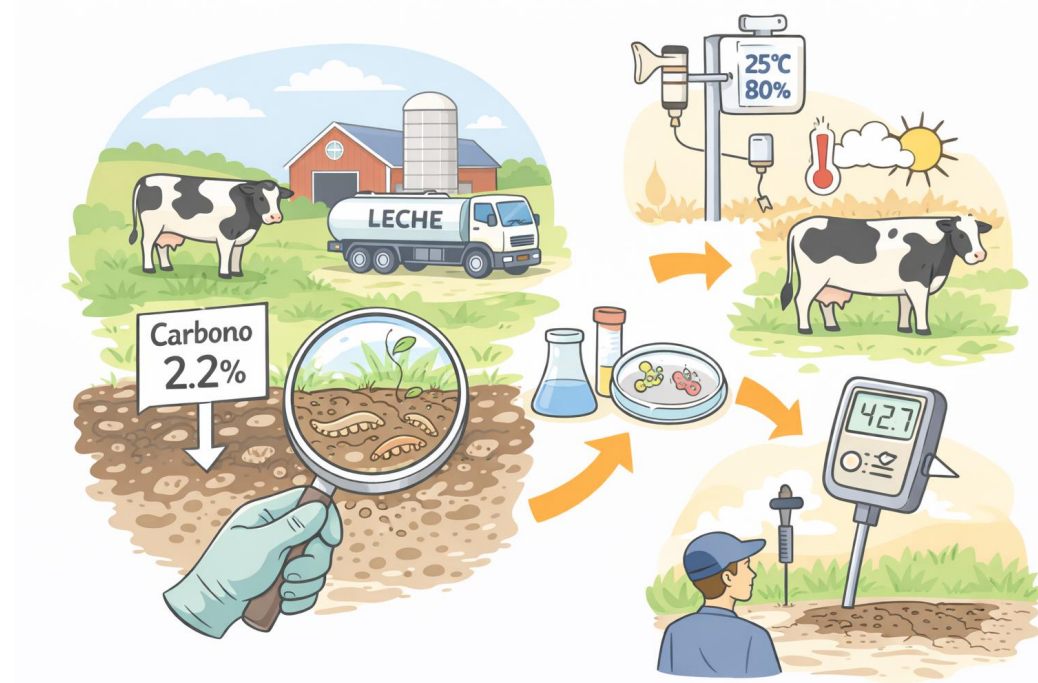
Describe **cómo está el sistema ambiental en un momento dado.**

👉 Son variables medibles del suelo, agua, aire, biodiversidad, etc. que se ven afectadas por las presiones

Ejemplos:

- Contenido de N y P en suelo
- Carbono orgánico del suelo
- Diversidad vegetal, microbiana

💡 Es la “foto” del sistema, cambia a partir de las presiones.



Impactos (Impacts)

Consecuencias sobre el medio ambiente

Son las **consecuencias de los cambios en el estado del sistema sobre las funciones ecosistémicas.**

👉 Aquí aparece lo que realmente nos importa a escala ambiental y/o productiva.

Ejemplos:

- Eutrofización de cuerpos de agua
- Afectación a fauna nativa
- Riesgo sanitario (mastitis)

💡 Es lo que genera preocupación o costo ambiental/productivo.

