

# Modelación Integrada Ambiente-Economía

Augusto Souto

**Universidad de la República**

13 de diciembre de 2020

# Índice

Introducción

Antecedentes

Métodos

Resultados

# Introducción

El uso de la tierra y las prácticas productivas suelen modelarse sin tener en cuenta una perspectiva integrada entre los sistemas naturales y sociales. Esto suele llevar a diferentes inconvenientes:

- ▶ Los modelos ambientales no toman en cuenta el rol de las decisiones humanas en la determinación del uso de la tierra, las prácticas ni el impacto de las diferentes configuraciones sobre la factibilidad económica.
- ▶ A su vez, por su naturaleza, los modelos económicos muchas veces no toman en cuenta efectos ambientales producidos por diferentes configuraciones en el uso de la tierra.

## Problema:

Encontrar usos de la tierra que balanceen la utilidad económica con la normativa ambiental en términos de caudal,  $P$  y  $N$ .

## Solución:

Modelar los procesos económicos y biofísicos de forma integrada.

# Objetivo

Construir un modelo integrado para el análisis de escenarios de uso de la tierra en la cuenca del río San Salvador. Esto serviría para:

- ▶ Evaluar la configuración actual del uso del suelo, de modo que sirva como benchmark.
- ▶ Evaluar escenarios alternativos al benchmark. Por ejemplo, escenarios con aplicación de riego.
- ▶ Tomar decisiones de política orientadas a compatibilizar la producción con el ambiente.

## Especificaciones Sobre la Operación de Riego

Se especifica la operación de riego de fuente ilimitada con pivot. La operación se determina a través del siguiente umbral de stress hídrico:

$$Stress = 1 - \frac{EvapotranspiracionReal}{EvapotranspiraciónPotencial}$$

3 umbrales:

- ▶ 0.4
- ▶ 0.8
- ▶ 0.95

**Interpretación:** se cubre la demanda hidrica en 40, 80 o 95 por ciento.

## Rotaciones a Regar

En la cuenca se encuentran 6 tipos de rotaciones. En 2 de ellas (1 y 6) la introducción de riego sería a priori una mejora.

Rotación	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5	
1	Maíz	Cob.	Soja	Cob.	Maíz	Cob.				
2	Trigo	Maíz	Bcho	Soja	Trigo	Soja	Cob.	Maíz	Trigo	Soja
3	Maíz	Cob.	Maíz	Cob.	PP1	PP1	PP2	PP2	PP3	PP3
4	Maíz	Cob.	Soja	Trigo						
5	Maíz	Cebada	Soja	Trigo						
6	Trigo	Soja	Cob.	Maíz	Cob.	Soja				

**Cuadro 1:** Rotaciones Agrícolas de la Cuenca

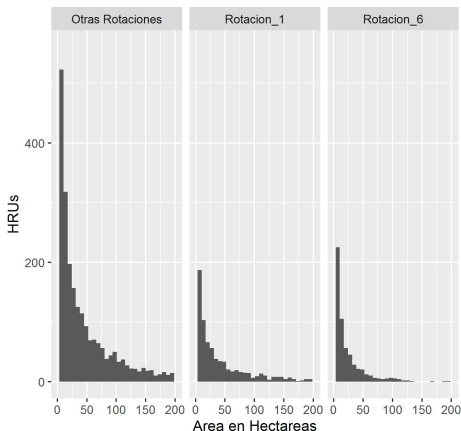
Por lo tanto, en los escenarios se prueba regar solamente las HRU que contengan esas rotaciones.

# Escenarios

Escenario	Rotacion a Regar	Parámetro de Riego	Porcentaje del Area Total a Regar
1	Ninguna (Base)	Ninguno	0 %
2	Rotación 1 y 6	0.95	25.3 %
3	Rotación 1 y 6	0.8	25.3 %
4	Rotación 1 y 6	0.4	25.3 %
5	Rotación 1	0.95	18.9 %
6	Rotación 1	0.8	18.9 %
7	Rotación 1	0.4	18.9 %
8	Rotación 6	0.95	6.3 %
9	Rotación 6	0.8	6.3 %
10	Rotación 6	0.4	6.3 %

## Areas por Rotacion

El tamaño medio de las HRU en las rotaciones relevantes es menor al de un establecimiento productivo. En el caso de la rotación 1 el la media del area está en algo mas de 15 has, y en el casi de la rotacion 6 son (aprox) apenas 6 has.





## Antecedentes

Algunos antecedentes de modelación integrada con SWAT incluyen:

- ▶ **Rabotyagov et al. (2010)** evalúan el costo y el efecto de diferentes practicas de conservacion sobre las cantidades de P y N en la cuenca del río Missisipi (USA).
- ▶ **Lee et al (2012)**, evalúan en Australia diferentes escenarios de riego económicamente mediante beneficios y ambientalmente con restricciones en variables como la salinidad y caudal.
- ▶ **Ancev et al. (2016)**, Extensión del trabajo de Lee et al, esta vez se mide la performance de las unidades a través de métricas específicas de eficiencia.
- ▶ **Corona et al. (2019)**, evalúan el efecto de diferentes escenarios de prácticas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Republican (Kansas, USA) y el beneficio económico derivado de estos cambios.
- ▶ **Liu et al. (2019)**, utilizan un modelo integrado para evaluar el efecto de diferentes políticas ambientales a aplicar en la cuenca del lago Eire sobre las decisiones de manejo de la

## Antecedentes II

- ▶ **Griffin et al. (2019)** evalúan el impacto de diferentes prácticas sobre la calidad del agua en la bahía de Narragansett (Rhode Island, EEUU). Asimismo, miden el beneficio derivado de estos cambios en la calidad del agua.
- ▶ **Haas et al. (2017)**, evalúan diferentes practicas de manejo en la cuenca del río Treene (Alemania) a través de su eficiencia, medida por el impacto ambiental que tiene cada unidad monetaria invertida.

# Antecedentes de Evaluación de Escenarios de Riego

Existen algunos antecedentes a nivel nacional que son útiles a este trabajo, como **Rosas et al. (2016)** o un la consultoría de sigmaplus en 2017.

Tomamos como marco teorico para la evaluacion de los escenarios el adoptado por Rosas et al. (2016), que se base en la teoria de la utilidad esperada.

## Modelo

Teniendo en cuenta una HRU  $i$ , año  $t$  y cultivo  $j$ :

$$\pi_{it} = \text{Ingresos}_{it} - \text{Costos}_{it} \quad (1)$$

$$\text{Ingresos}_{it} = \sum_{j=1}^N \text{Rendimiento}_{jit} * \text{Precio}_{jit} \quad (2)$$

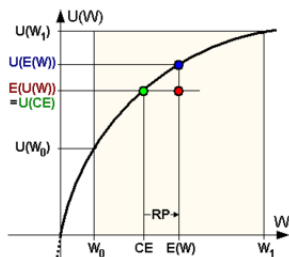
$$\text{Costos}_{it} = \sum_{j=1}^N CF_{jit} + \text{Agua}_{it} * P_{\text{Agua}} \quad (3)$$

## Modelo II

Cada productor recibe una utilidad sobre el vector de beneficios que percibe cuando produce. Estos beneficios a su vez son inciertos, por lo que el productor enfrenta un riesgo.

La utilidad para todo el período es la suma de las utilidades de cada año, en este caso no se las descuenta.

$$U(\Pi_i) = \sum_{t=1}^T u(\pi_{it}) \quad (4)$$



## Modelo III

- ▶ Por otra parte, si tomamos en cuenta que los profits para cada HRU en cada año son variables, si el planificador es averso al riesgo entonces estará dispuesto a aceptar un equivalente cierto menor al valor esperado de los beneficios.
- ▶ Cuanto más averso al riesgo más sube la prima de riesgo que está dispuesta a aceptar para recibir esa suma cierta.

$$EC_i = E(\Pi_i) - PR_i \quad (5)$$

El planificador maximiza

$$EC_{TOTAL} = \sum_{i=1}^I EC_i \quad (6)$$

## Función de utilidad:

La función que se usa es una función estándar en la teoría. Usamos con 8 parámetros de aversión al riesgo diferentes para ver como varían los resultados en función de la forma de la función.

$$U(\Pi_i) = - \sum_{t=1}^T e^{-\alpha \pi_{it}} \quad (7)$$

## Restricciones Ambientales: P y N

En desarrollo, por ahora lo unico que se ha probado fue lo siguiente formulación, (aunque no parece ser muy efectivo):

Ver la fracción del tiempo total en la que se viola la normativa ambiental en términos de concentraciones de N y P no puede por  $\varepsilon$  y  $\theta$  del tiempo.

$$IP_t = \begin{cases} 1 & \text{si } P_t < TP_t \\ 0 & \text{si } P_t \geq TP_t \end{cases} \quad (8)$$

$$IN_t = \begin{cases} 1 & \text{si } N_t < TN_t \\ 0 & \text{si } N_t \geq TN_t \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\sum_{t=1}^T IP_t}{T} \geq \varepsilon \quad (10)$$

$$\frac{\sum_{t=1}^T IN_t}{T} \geq \theta \quad (11)$$



# Variables Ambientales y de Producción

## Variables:

Se integran del SWAT las siguientes variables:

- ▶ Yield:  $Y_{itj}$ . Variable en cada escenario. Variable SWAT Yield/ha
- ▶ Concentraciones de N y P:  $N_t$  y  $P_t$  en las subcuencas. Variables en cada escenario. A partir de las variables SWAT Flow Out, Tot N y Tot P.
- ▶ Irrigación por HRU. Variable en cada escenario. Variable SWAT IRRmm.
- ▶ Areas de las HRU (Area).  $A_i$ . Invariante. Variable Areakm2.
- ▶ Uso del Suelo. Depende del escenario. Variable SWAT LULC. En Swatplus construyo la secuencia de usos mediante el archivo mgtout y las operaciones de cada cultivo (Plant, Harvest, Kill).

# Informacion Economica y Normativa

## Costos/ha

- ▶ Avena 393 usd (OKARA)
- ▶ Maíz 641 usd (OKARA)
- ▶ Soja 395 usd (OKARA)
- ▶ Sorgo 641 usd (OKARA)
- ▶ Trigo 476 usd (OKARA)
- ▶ Agua 0.65 usd por mm, costo efectivo (Varias fuentes coinciden en mas o menos el mismo valor).

## Precios

- ▶ Avena 195 por ton (Camara Mercantil de Productos del País)
- ▶ Maíz 140 por ton (Camara Mercantil de Productos del País)
- ▶ Soja 310 por ton (Camara Mercantil de Productos del País)
- ▶ Sorgo 160 por ton (Camara Mercantil de Productos del País)
- ▶ Trigo 185 por ton (Camara Mercantil de Productos del País)

Los precios incluyen un descuento aproximado de 10 dolares que sale del costo de transporte por ton de 0.2 reportado por MTOP por una distancia promedio de 50 km a Nueva Palmira

## Otros Datos

- ▶ Concentración de P: 0,025 Mg/L (Normativa DINAMA)
- ▶ Concentración de N: 10 Mg/L (Normativa DINAMA)
- ▶ Caudal: A determinar.

## Resultados Economicos Agregados

- Los escenarios más convenientes parecen ser los que implican regar ambas rotaciones. El parámetro de riego óptimo cambia según el nivel de aversión al riesgo que se suponga. Sin aversión, conviene el escenario con mayor riego, con poca aversión conviene fijar el parámetro en 80 % de la demanda y con un nivel de aversión algo más alto conviene regar aunque menos.
- El escenario base parece ser el peor en todos los casos. En los casos con mayor aversión empeora la situación por la variabilidad que tienen los beneficios en este escenario.

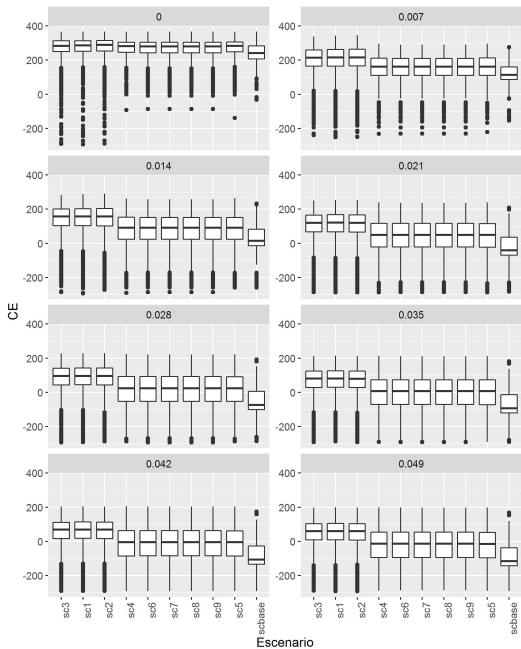
	Rotly6_95	Rotly6_80	Rotly6_40	Rot1_95	Rot1_80	Rot1_40	Rot6_95	Rot6_80	Rot6_40	base
ARA_0	\$ 573.564	\$ 571.851	\$ 567.762	\$ 543.496	\$ 541.421	\$ 538.858	\$ 538.858	\$ 538.858	\$ 538.858	\$ 479.560
ARA_0.07	\$ 367.161	\$ 370.499	\$ 369.213	\$ 308.347	\$ 308.136	\$ 306.683	\$ 306.683	\$ 306.683	\$ 306.683	\$ 229.346
ARA_0.14	\$ 242.117	\$ 247.703	\$ 248.722	\$ 163.937	\$ 164.691	\$ 164.115	\$ 164.115	\$ 164.115	\$ 164.115	\$ 58.566
ARA_0.21	\$ 166.954	\$ 173.655	\$ 176.219	\$ 81.821	\$ 82.983	\$ 82.929	\$ 82.929	\$ 82.929	\$ 82.929	-\$ 38.671
ARA_0.28	\$ 119.100	\$ 126.260	\$ 129.646	\$ 31.509	\$ 32.840	\$ 33.066	\$ 33.066	\$ 33.066	\$ 33.066	-\$ 96.041
ARA_0.35	\$ 86.726	\$ 94.064	\$ 97.854	-\$ 1.838	-\$ 432	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 132.908
ARA_0.42	\$ 63.641	\$ 71.050	\$ 75.041	-\$ 25.363	-\$ 23.921	-\$ 23.465	-\$ 23.465	-\$ 23.465	-\$ 23.465	-\$ 158.362
ARA_0.49	\$ 46.453	\$ 53.893	\$ 57.990	-\$ 42.778	-\$ 41.316	-\$ 40.810	-\$ 40.810	-\$ 40.810	-\$ 40.810	-\$ 176.921

# Resultados Economicos Promedio por Ha

- ▶ Los promedios (equivalente al valor esperado) de los CE por ha en cada escenario, para el caso sin aversión, son todos positivos.
- ▶ Si aumenta la aversión, para los escenarios menos favorables los valores son negativos.

	Rot1y6_95	Rot1y6_80	Rot1y6_40	Rot1_95	Rot1_80	Rot1_40	Rot6_95	Rot6_80	Rot6_40	Base
ARA_0	\$ 295	\$ 294	\$ 292	\$ 280	\$ 279	\$ 277	\$ 277	\$ 277	\$ 277	\$ 247
ARA_0.07	\$ 189	\$ 191	\$ 190	\$ 159	\$ 159	\$ 158	\$ 158	\$ 158	\$ 158	\$ 118
ARA_0.14	\$ 125	\$ 127	\$ 128	\$ 84	\$ 85	\$ 84	\$ 84	\$ 84	\$ 84	\$ 30
ARA_0.21	\$ 86	\$ 89	\$ 91	\$ 42	\$ 43	\$ 43	\$ 43	\$ 43	\$ 43	-\$ 20
ARA_0.28	\$ 61	\$ 65	\$ 67	\$ 16	\$ 17	\$ 17	\$ 17	\$ 17	\$ 17	-\$ 49
ARA_0.35	\$ 45	\$ 48	\$ 50	-\$ 1	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	-\$ 68
ARA_0.42	\$ 33	\$ 37	\$ 39	-\$ 13	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 81
ARA_0.49	\$ 24	\$ 28	\$ 30	-\$ 22	-\$ 21	-\$ 21	-\$ 21	-\$ 21	-\$ 21	-\$ 91

# Resultados Economicos a nivel de HRU



## Resultados A Nivel Ambiental: Caudal Total

Caudal por Mes

# Concentración de Nitrogeno Total



## Concentración de Nitrogeno por Mes

# Concentración de Fosforo Total

## Concentración de Fosforo por Mes

# Preguntas

1. Son Realistas las salidas ambientales?
2. Sugerencias para establecer una restricción?