



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-186

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Desarrollo de un modelo de simulación para sistemas de silvopastoreo en Uruguay

VARELA, F.<sup>4</sup>, DIEGUEZ, F.<sup>2</sup>, BUSSONI, A.<sup>1</sup>, BOSCANI, M.<sup>3</sup>, LLANOS, E.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ing Agr MSc Departamento de Ciencias Sociales de Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Responsable de Proyecto FPTA300 INIA-FAGRO

<sup>2</sup> Ing Agr PHd Departamento de Sistemas Ambientales de Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.

<sup>3</sup> Ing Agr Integrante de Proyecto FPTA300 INIA-FAGRO

<sup>4</sup> Ing Agr Integrante de Proyecto FPTA300 INIA-FAGRO

<sup>5</sup> Med Vet Integrante de Proyecto FPTA300 INIA-FAGRO

### Resumen

En los últimos 40 años Uruguay mantuvo un crecimiento en el rubro forestal modificando incluso su matriz productiva. Este desarrollo significa un aumento en la superficie forestada superando el millón de hectáreas afectadas, principalmente con diferentes especies de *Eucalyptus sp.*, ubicándose dentro del mercado mundial de pulpa de celulosa. Uruguay ha sido históricamente reconocido por su carne, con una población bovina que supera los diez millones de cabezas y con una superficie de 16 millones de hectáreas. Los sistemas silvopastoriles presentan ventajas para el suelo como protección de erosión, posibilitan el desarrollo de pasturas tolerantes a la sombra y reducen las pérdidas energéticas por mantenimiento de temperatura corporal en animales. Este trabajo se focaliza en el desarrollo de un modelo que intente responder interrogantes productivas surgidas por el uso combinado de los tres componentes: la producción de madera, la producción forrajera bajo dosel y la superficie disponible para pastoreo soportar. El simulador recoge información obtenida a campo de producción de madera, forraje y radiación fotosintéticamente activa (PAR) en tres sistemas que integran forestación y ganadería en el Sur Este del Uruguay. Estos difieren en el marco de plantación, la densidad inicial de árboles y la calidad del sitio de desarrollo.

### Palabras clave

Marco de plantación, sombra, competencia, incorporación, interacción.

### Introducción

La actividad silvopastoril es una alternativa de producción posible y efectiva dentro de nuestro país que involucra a productores ganaderos – históricamente parte fundamental de la cadena productiva agropecuaria - y a la creciente presencia de plantaciones forestales que abarcan regiones de todo Uruguay.

Según datos del Censo General Agropecuario 2011, nuestro país cuenta con más de diez millones de cabezas de ganado, con 23.568 explotaciones comerciales ganaderas (57%), que ocupan 10.890.880 hectáreas (MGAYP 2011). En el período 1990 – 2011 se registró un incremento de 62% del área dedicada a la forestación superando actualmente el millón de hectáreas, siendo éste uno de los cambios más importantes en el agro uruguayo de las últimas décadas (MGAYP 2011). Si bien el desarrollo de la forestación está directamente relacionado con la industria de la celulosa y otros productos maderables para aserrío e industria de tableros y contrachapados, también significa una complementariedad como fuente de alimentación para pastoreo de ganado en forma asociada. La información del Censo revela la existencia de 785 explotaciones comerciales forestales que manejan 1.243.508 has de bosques de las cuales un porcentaje muy alto realizan pastoreo de ganado bajo

monte. Las empresas forestales 85% al 98% de los casos censados declaran realizar esta práctica (com pers. Bussoni).

Además de brindar servicios ganaderos, las producciones integradas o sistemas silvopastoriles podrían ser biológicamente más productivos, rentables y sustentables (Peri 2016) (Acosta & Pastorini 2010) . Sin embargo, la incorporación de forestación en predios ganaderos ha sido y es motivo de discusión por parte del sector agropecuario (Boscana & Varela 2011). Las principales barreras mencionadas por los productores ganaderos que inciden en la adopción de esta práctica son: reducción de la superficie disponible para pastoreo afectando la carga animal, dificultades para el manejo de los rodeos bajo el monte, falta de experiencia en el rubro forestal y modificación del paisaje por la presencia de masas forestales.

Por otro lado, productores ganaderos que han incorporado la forestación en sus establecimientos tienen en cuenta algunas ventajas de esta actividad como una mejor utilización del recurso suelo, beneficios para los animales por la disminución del stress térmico del ganado en condiciones de altas temperaturas y protección en las estaciones de frío, lo que reduce las pérdidas en kilos de carne (Simeone, Beretta, et al. 2014). Dentro de las ventajas se considera también la ecuación económica a largo plazo que permite obtener ganancias por productos forestales.

Los sistemas silvopastoriles disminuyen el impacto ambiental de la ganadería bovina, permiten incrementar la fertilidad del suelo y la profundidad del sistema radicular de los árboles aumenta el área de captación de agua y nutrientes. Hay mayor control de la erosión dado que la masa forestal reduce el impacto de la lluvia sobre el suelo, aumenta la infiltración y protege al suelo del viento y de la radiación solar. Existe una mayor actividad de macro y micro fauna por más presencia de materia orgánica en el suelo y aumenta el reciclaje de nutrientes a través del follaje, ramas y residuos del pastoreo. Además de estas ventajas, los bosques son una importante reserva de carbono (Mahecha 2002).

El enfoque de sistemas en producción agropecuaria implica el concepto de estudio de un agroecosistema (Hart 1985), el que se define como un ecosistema modificado por el ser humano que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios (Vilaboa-Arroniz 2009). De acuerdo con estos autores en un agroecosistema la interacción entre componentes proporciona las características estructurales a la unidad. Así, sus componentes deben presentarse en cierta proporción y arreglo para que se tenga un sistema con una estructura definida. Entre los componentes del sistema se establecen relaciones o interacciones que deben ser entendidas y consideradas al analizar el sistema en su conjunto. La ganadería con base pastoril puede ser concebida como un sistema biológico complejo en su sentido funcional (Von Bertalanffy 1972); (Vayssières et al. 2011); (Turner et al. 2013) , considerando las relaciones y regulaciones entre componentes, a lo que se suma la complejidad de interacciones bióticas, si se considera otro componente. Tal es el caso de un monte forestal en sistemas de silvopastoreo. En estos sistemas se reconocen fundamentalmente un componente animal, un componente forestal y un componente herbáceo, debiendo ser consideradas las características productivas de cada uno de ellos y en forma especial las interacciones bióticas que se establecen a lo largo de los ciclos. Además de estos componentes, un sistema silvopastoril está conformado por el clima, el ambiente y el suelo.

Dentro de un sistema, las principales interacciones que deben ser consideradas son aquellas que afectan la productividad de cada uno de los componentes. En el caso del bosque la sombra producida afecta el crecimiento de la pastura bajo dosel por la atenuación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que atraviesa las copas y llega a la superficie, así como también cambia las condiciones de humedad relativa del sotobosque (Paruelo & Golluscio 1994). La densidad de árboles y el diseño o marco de plantación afecta en forma directa el área disponible para pastoreo. Un marco de

plantación que disminuya la densidad de árboles aumenta el área de pastoreo pero reduce la producción de madera (Gallo 1998a).

La superficie disponible para pastoreo así como la producción de materia seca bajo el monte, se encuentran directamente relacionadas con el marco de plantación y es posible por lo tanto, establecer diseños adecuados que permitan el desarrollo de los componentes animal, pastura y madera en forma combinada.

Los diferentes ciclos productivos de cada uno de los elementos es una característica propia de los sistemas de silvopastoreo que deben integrar las variaciones estacionales anuales de producción de materia seca del campo natural, con ciclos de uno a tres años de engorde animal y finalmente períodos cercanos a los diez años o más para la corta de madera.

Desde un punto de vista económico-productivo, estas características indican cierta complejidad al momento de proyectar un sistema basado en forestación y ganado alimentado a campo natural, estableciendo la mejor distribución para la superficie asignada a cada componente.

La suma de las características expuestas anteriormente destacan la importancia de contar con un modelo conceptual que permita comprender y representar las principales interacciones entre los componentes de un sistema silvopastoril y que sirva de soporte para el desarrollo de un simulador.

## 1. Objetivos

El objetivo primario es la construcción de un modelo de simulación que permita comprender la interacción entre la producción de materia seca bajo dosel en relación al marco de plantación establecido.

El modelo deberá evidenciar las principales relaciones bióticas entre los componentes pastura, animal y bosque.

## 2. Metodología

Para el diseño del modelo se utiliza información relevada de estudios de casos en el Sur Este de Uruguay, en tres establecimientos ganadero-forestales de los departamentos de Maldonado, Rocha y Florida. En dichos predios se definieron parcelas forestales de acuerdo a criterios de suelos, orientación, índice de sitio y marco de plantación. Se realizan mediciones sobre crecimiento del rodal y sobre crecimiento de materia seca bajo dosel y en áreas libres de forestación. Para producción forrajera se instaló un sistema de jaulas de exclusión con períodos de corte entre 45 a 60 días, cuyos datos fueron complementados con análisis de laboratorio para proteína cruda (PC%) y fibra detergente ácido (FDA%). Además para determinar los rendimientos se utilizará información de la base de datos libre del sistema de seguimiento forrajero satelital (UBA n.d.). También se efectúan mediciones de radiación (PAR) bajo dosel y en zonas libres de forestación. Se cuenta con mediciones de las principales variables dasométricas: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (HT), altura de copa, diámetros de copa, distancia entre árboles y distancia entre filas. Las mediciones se llevan a cabo desde el año 2014 a la fecha para los tres establecimientos, que representan diferentes edades del cultivo forestal. Estos registros se procesarán con el paquete estadístico R v3.1. para realizar los análisis correspondientes (varianza, desvío estándar, media y determinar diferentes correlaciones y análisis de regresión).

Para las relaciones que se establecen entre el modulo pastura y el modulo animal se tomara como base de este trabajo las ecuaciones generadas en el modelo de simulación MEGanE (Dieguez Cameroni et al. 2012). Estas explican la relación de oferta y demanda y permiten establecer una presupuestación forrajera, considerando aspectos dinámicos de la oferta de forraje y la evolución de peso de los animales.

El área de copa está relacionada con variables dendrométricas como edad, altura, diámetro, índice de sitio y con la densidad del bosque que a su vez depende del diseño o marco de plantación. (Nutto & Touza Vazquez 2006). La información de diámetro de copa se registró en dos árboles por fila de cada parcela evaluada y representan al momento 750 registros sobre un total de 8.000. Para los árboles evaluados se miden los diámetros axiales y radiales. Posteriormente se calcula el área de la copa para una forma cilíndrica y para una forma elipsoidal.

Debido a que es necesario conocer la totalidad del área de copa para poder abordar el cálculo de cde la sombra proyectada bajo dosel, se estudia la confección de un estimador de área de copa que permita conocer ese dato para cada árbol. En un trabajo realizado en Galicia para *Eucalyptus globulus* (Nutto & Touza Vazquez 2006) se encontró que el área de copa tiene una alta correlación con el DAP (0.93) así como también la edad (0.75) obteniéndose en ese trabajo la siguiente ecuación:

$$\text{diámetro de copa} = e^{0.223 - 0.006 * \text{edad} + 0.0417 * \text{dap} - 0.000089 * \text{dap}^2}$$

Sin embargo, en la investigación se está analizando la correlación de la edad, el área basal y la calidad del sitio con los datos generados a campo para determinar el área de copa.

El factor de cobertura es el área del suelo ocupada por la sombra proyectada por las copas de los árboles y se expresa habitualmente en porcentaje. Corresponde a la sumatoria de las áreas de las copas en relación a la superficie del terreno estimando un porcentaje de solapamiento de copas.

En la siguiente tabla se describen los estudios de caso.

Tabla 1: Estudios de caso

|                          | DEPARTAMENTO | SITIO   | MARCO            | POBLACION |
|--------------------------|--------------|---------|------------------|-----------|
| <b>ESTABLECIMIENTO 1</b> | MALDONADO    | SITIO 1 | 6 X 1,5          | 1.100     |
|                          |              | SITIO 2 | 6 X 1,5          | 1.100     |
| <b>ESTABLECIMIENTO 2</b> | ROCHA        | SITIO 3 | (2 X 2) + 8      | 1.000     |
|                          |              | SITIO 4 | 3,5 X 2,27       | 1.250     |
| <b>ESTABLECIMIENTO 3</b> | FLORIDA      | SITIO 5 | 4 X 3,5          | 714       |
|                          |              | SITIO 5 | (2 x 1,5)<br>+15 | 788       |

Además de la parte productiva, el simulador genera un análisis económico donde se obtiene el VAN (Valor Neto Actual) y el MBF (Margen Bruto Forestal), considerando los costos de producción y los valores de comercialización de madera y carne. Son indicadores tentativos sujetos a variaciones de mercado y su principal objeto es brindar una orientación económica.

Se decidió utilizar el lenguaje UML (unified model language) para el diseño del simulador ya que ésta herramienta puede utilizarse para modelar un problema obteniendo un Modelo de Dominio y para modelar la solución obteniendo un Diagrama de Clases de Diseño. El lenguaje UML permite interpretar la realidad en un formato gráfico a través de diagramas de clase, diagramas de actividad y de flujo entre otros y eso representa una ventaja en las etapas de diseño y comprensión del problema así como la discusión del mismo en grupos interdisciplinarios. Un modelo conceptual desarrollado en UML también es más fácil de interpretar al momento de codificar o programar el código del simulador (Corral, 2000). Se trata de un protocolo estandarizado y regulado por la organización OMG (Object Management Group, [www.omg.org](http://www.omg.org)).

Se modelan los principales componentes del sistema silvopastoril: la pastura, el bosque y el componente animal, además del ambiente que interactúa con el resto. El modelo incorpora las principales variables de interés que conforman las entradas y salidas del sistema y define los procesos que afectan o dependen de esas variables dentro de cada componente así como las principales interacciones.

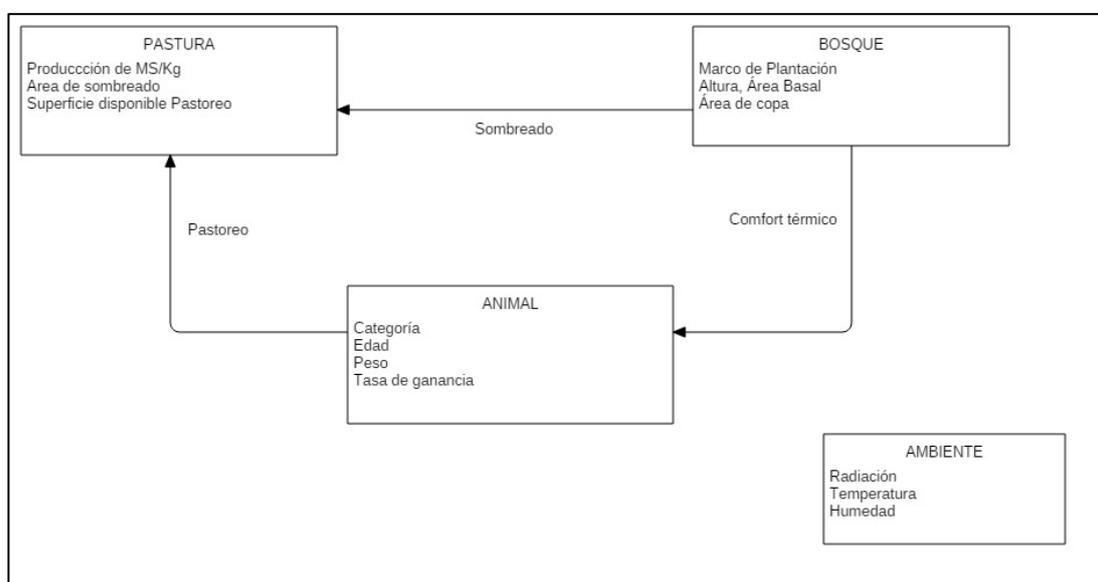


Figura 1: Modelo de dominio (UML).

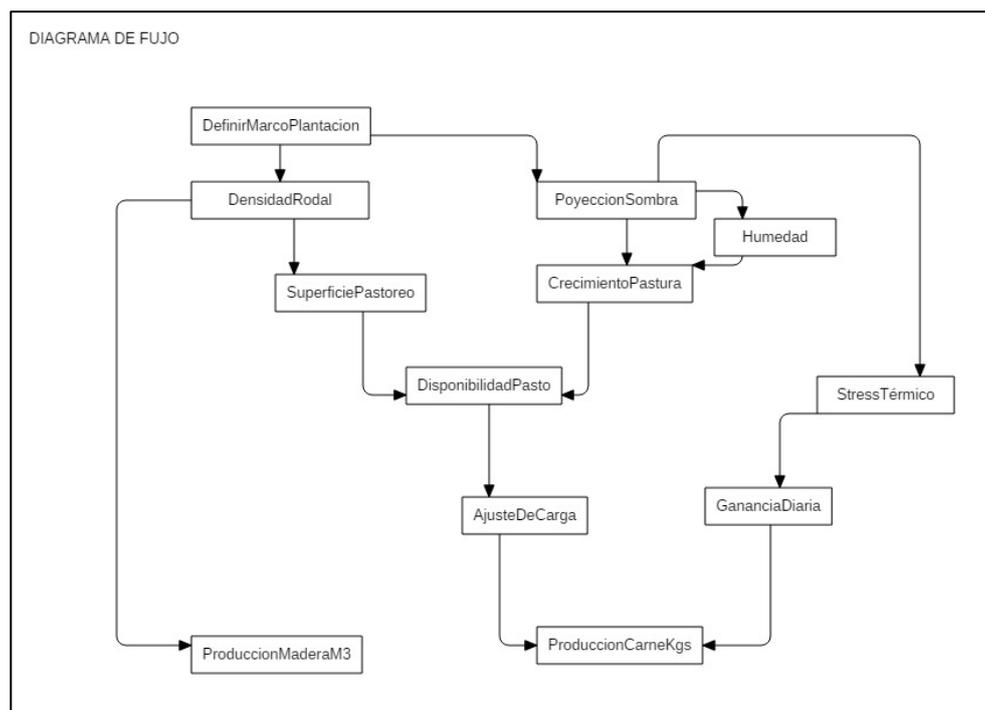


Figura 2: Diagrama de Flujo

### 3. Resultados

Se definieron las principales variables de entrada que alimentan el simulador y las principales salidas generadas acorde a los objetivos de la investigación. A continuación se definen las principales variables de entrada.

Tabla 2: Inputs del sistema

| INPUTS / Entradas del sistema | DESCRIPCION                                       |
|-------------------------------|---|
| Superficie Total              | Superficie total del establecimiento              |
| Superficie Forestada          | Superficie ocupada por bosques                    |
| Superficie Pastoreo           | Superficie campo natural                          |
| Densidad de plantación        | Número de Árboles                                 |
| Distancia en la fila          | Cantidad de árboles por fila                      |
| Numero de filas               | Cantidad de filas                                 |
| Distancia entre filas         | Distancia entre filas consecutivas                |
| Distancia callejones          | Distancia de callejones si los hubiera            |
| Fecha de plantación           | Fecha inicial de la plantación                    |
| CAP                           | Circunferencia a la altura del pecho              |
| Altura Total                  | Altura total del árbol                            |
| Altura copa                   | Altura total de la copa                           |
| Diámetro de copa              | Diámetro de copa en dos ejes                      |
| Edad                          | Edad del árbol al momento de la medición          |
| FF                            | Factor de forma                                   |
| Orientación de la parcela     | Orientación latitud, longitud                     |
| Índice de Sitio               | Altura Media Dominante a los 10 años              |
| PAR                           | Radiación fotosintéticamente activa               |
| Pastura (CN)                  | Producción de Kg/MS/día obtenido de proyecto LART |

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| Animal_Peso_Inicial | Peso Kg al iniciar la simulación |
| Animal_Peso_Final   | Peso Kg a alcanzar               |
| Animal_Edad         | Edad al inicio de la simulación  |

La información que se puede obtener del simulador son los siguientes indicadores:

Tabla 3: Outputs del sistema

| OUTPUTS/ Salidas del sistema                | DESCRIPCION  |
|---|--|
| Superficie disponible para pastoreo         | Evolución de la superficie disponible que incluye campo natural y áreas de pastoreo bajo dosel que se va ajustando de acuerdo al crecimiento del bosque. |
| Volumen de madera producida anualmente      | Volumen en m <sup>3</sup> de madera producida y valoración económica   |
| Área de Copa Cobertura del suelo por sombra |  |
| Disminución de la cantidad de luz           | Radiación fotosintéticamente activa afectada por un índice de sombra   |
| Pastura (CN)                                | Producción de Kg/MS/día obtenido de proyecto LART afectada por un índice de sombra   |
| Tasa de ganancia del animal (kg).           | Ecuaciones tomadas del simulador Megane (Dieguez Cameroni et al. 2012) afectada por un coeficiente térmico. Valoración económica del resultado Kg Carne. |
| Índice de confort<br>Índice de sombra       |  |

|                               |  |                                      |                      |   |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------|---|
| Especie forestal              | <input type="text" value="E. globulus"/> | <input type="text" value="15,00"/>   | Realizar Proyección  | <br>prueba<br><input type="checkbox"/> |
| Zona                          | ZONA 9                                   | <input type="text" value="2 Filas"/> | Resultado Financiero |   |
| Edad inicial de la plantación | <input type="text" value="1,00"/>        | <input type="text" value="3,00"/>    | Nueva Proyección     |   |
| Edad final de la plantación   | <input type="text" value="10,00"/>       | <input type="text" value="2,00"/>    | Volver               |   |
| DAP medio inicial (cm)        | <input type="text" value="5,00"/>        | <input type="text" value="550"/>     |                      |   |
| Altura media dominante (m)    | <input type="text" value="6,00"/>        | <input type="text" value="2,00"/>    |                      |   |
| Índice de Sitio (m)           | <input type="text" value="22,70"/>       | <input type="text" value="200,00"/>  |                      |   |
|                               | <input type="text" value="10,00"/>       | <input type="text" value="10,00"/>   |                      |   |

| Edad | DAP cm | Área Basal m <sup>2</sup> /ha | AMD m | Árboles ha | VOLUMEN m <sup>3</sup> /ha | meses | Copa m <sup>2</sup> Sitio 1 | % Sombra 1 | Copa m <sup>2</sup> Sitio 2 | % Sombra 2 | Copa m <sup>2</sup> Sitio 3 | % Sombra 3 | ESPESURA (FCC) |
|------|--------|-------------------------------|-------|------------|----------------------------|-------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|----------------|
| 1,0  | 5,0    | 1,1                           | 6,0   | 550        | 2,5                        | 12,0  | 769,5                       | 7,7        | 781,3                       | 7,8        | 670,9                       | 6,7        | RASA           |
| 2,0  | 10,3   | 4,5                           | 10,5  | 545        | 17,9                       | 24,0  | 2.841,4                     | 28,4       | 2.853,1                     | 28,5       | 2.743,6                     | 27,4       | CLARA          |
| 3,0  | 13,4   | 7,6                           | 13,7  | 539        | 38,7                       | 36,0  | 4.672,6                     | 46,7       | 4.684,1                     | 46,8       | 4.575,8                     | 45,8       | ABIERTA        |
| 4,0  | 15,8   | 10,4                          | 16,1  | 532        | 61,7                       | 48,0  | 6.273,6                     | 62,7       | 6.284,9                     | 62,8       | 6.178,0                     | 61,8       | ABIERTA        |
| 5,0  | 17,7   | 12,9                          | 18,2  | 523        | 85,5                       | 60,0  | 7.655,7                     | 76,6       | 7.666,9                     | 76,7       | 7.561,8                     | 75,6       | DEFECTIVA      |
| 6,0  | 19,3   | 15,0                          | 19,9  | 513        | 108,1                      | 72,0  | 8.748,7                     | 84,0       | 8.759,7                     | 84,0       | 8.656,5                     | 84,0       | COMPLETA       |
| 7,0  | 20,7   | 16,9                          | 21,4  | 503        | 130,1                      | 84,0  | 9.650,3                     | 84,0       | 9.661,1                     | 84,0       | 9.560,1                     | 84,0       | COMPLETA       |
| 8,0  | 22,0   | 18,6                          | 22,7  | 491        | 151,1                      | 96,0  | 10.377,3                    | 84,0       | 10.387,8                    | 84,0       | 10.289,2                    | 84,0       | COMPLETA       |
| 9,0  | 23,1   | 20,1                          | 23,9  | 478        | 171,1                      | 108,0 | 10.946,4                    | 84,0       | 10.956,6                    | 84,0       | 10.860,5                    | 84,0       | COMPLETA       |
| 10,0 | 24,2   | 21,4                          | 24,9  | 465        | 190,1                      | 120,0 | 11.374,5                    | 84,0       | 11.384,5                    | 84,0       | 11.291,1                    | 84,0       | COMPLETA       |



ATENCIÓN: la simulación de crecimiento del monte se realizó en base a las funciones de producción de Methol, R. (2006)

Methol, R. (2006). Sistema de Apoyo a la Gestión de Plantaciones de Eucalyptus globulus. Revista Inia, Serie Técn, 34.

Figura 3: Pantalla de salida de datos de proyección, crecimiento, volúmen y cobertura.

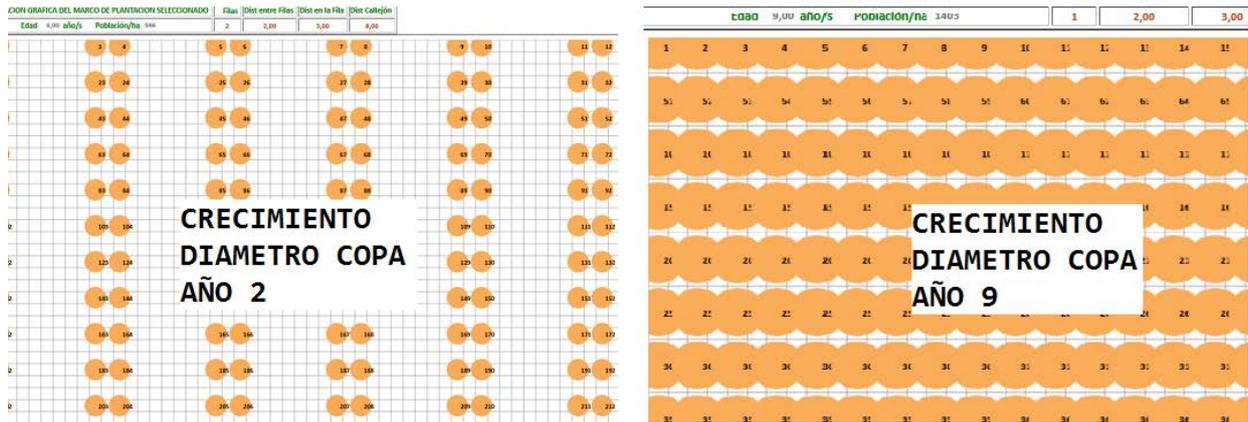


Figura 4: Salida gráfica representando la distribución en el campo de acuerdo al marco de plantación establecido. Esta salida se va ajustando en forma dinámica según el año de crecimiento.

| Año Inicio | Año Fin | Detalle Actividad        | Tipo       | Valor US\$ | Cantidad | Sup (has) | Total US\$/Año | Total US\$  | Eliminar |
|------------|---------|--------------------------|------------|------------|----------|-----------|----------------|-------------|----------|
| 0          | 0       | ALAMBRADO                | Egreso (-) | 0,60       | 1        | 200,00    | 0,00           | -120,00     | X        |
| 0          | 0       | APLICACION HERBICIDA     | Egreso (-) | 286,0      | 1        | 200,00    | 0,00           | -57.200,00  | X        |
| 0          | 0       | COMBATE HORMIGA          | Egreso (-) | 60,00      | 1        | 200,00    | 0,00           | -12.000,00  | X        |
| 1          | 10      | COSTOS ADMINISTRATIVOS   | Egreso (-) | 10,00      | 1        | 200,00    | 0,00           | -2.000,00   | X        |
| 0          | 0       | LABOREO                  | Egreso (-) | 822,0      | 1        | 200,00    | 0,00           | -164.400,00 | X        |
| 0          | 0       | MANO DE OBRA PLANTACION  | Egreso (-) | 460,0      | 1        | 200,00    | 0,00           | -92.000,00  | X        |
| 10         | 10      | COSTO DE COSECHA US\$/M3 | Egreso (-) | 18,00      | 1        | 200,00    | 0,00           | -3.600,00   | X        |

**+**

Volumen m3 de madera para venta (año 10)  Venta de madera

Valor MINIMO esperado para venta de madera (US\$/m3/ha):

Valor PROMEDIO esperado para venta de madera (US\$/m3/ha):

Valor MAXIMO esperado para venta de madera (US\$/m3/ha):

Tasa de Interés

| Escenario                   | Valor Mínimo esperado (US\$/m3/ha) | Escenario                   | Valor Medio esperado (US\$/m3/ha) | Escenario                   | Valor Máximo esperado (US\$/m3/ha) |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Flujo Neto sin actualizar   | <b>0,00</b>                        | Flujo Neto sin actualizar   | <b>0,00</b>                       | Flujo Neto sin actualizar   | <b>0,00</b>                        |
| Valor Actual Neto           | <b>0,00</b>                        | Valor Actual Neto           | <b>0,00</b>                       | Valor Actual Neto           | <b>0,00</b>                        |
| Margen Bruto Forestal Anual | <b>0,00</b>                        | Margen Bruto Forestal Anual | <b>0,00</b>                       | Margen Bruto Forestal Anual | <b>0,00</b>                        |

Figura 5: Información del análisis económico realizado para la proyección calculada. Se obtienen indicadores de V.A.N. y Margen Bruto Forestal para distintos escenarios.

El modelo espera determinar los siguientes indicadores: i) área de copa del árbol en función de la edad, área basal, índice de sitio y distancia entre árboles que permita expresar el volumen de la copa en m2 y el tiempo necesario para que se cierre el dosel. ii) porcentaje de cobertura de suelo por sombra proyectada en función de la sumatoria de copas del rodal, iii) producción y diferencias de kilogramos de materia seca en función de la tasa de sombreado, iv) en cuanto a la interacción sombra y stress térmico, se buscará establecer un coeficiente de sombreado y establecer cómo afecta la tasa de ganancia diaria en el período estival e invernal, v) área disponible para pastoreo en función de superficie forestada, crecimiento del rodal.

#### 4. Discusión

Si bien existen en Uruguay modelos de simulación para crecimiento de madera (SAG INIA), simuladores de presupuestación forrajera (Megane, Plan Agropecuario, Plan G) entre otros, no se han desarrollado hasta el momento simuladores productivos-económicos para modelos de producción integrada de árboles-pasturas-ganado.

Si bien el presente trabajo se encuentra en etapa de desarrollo y ajuste de ecuaciones e interacciones entre los componentes, es posible visualizar ciertas ventajas de éste simulador. Los ajustes y la validación de los resultados se llevan a cabo con la participación de productores ganaderos que han incorporado forestación en sus predios. Por otra parte se trata de un modelo dinámico que ajusta su funcionamiento de acuerdo a los cambios de las variables y puede visualizarse en una línea de tiempo. El simulador está desarrollado para tres regiones de Uruguay, pero contempla la posibilidad de ajustar las ecuaciones a diferentes regiones del país una vez generada la información a campo.

Finalmente se espera colocar el simulador en una plataforma web para uso libre por parte del público interesado.

En base a los casos estudiados obtener las mejores combinaciones en función de los objetivos productivos planteados para la obtención de madera, carne y pastura. Incluir variables que permitan visualizar resultados económicos de los diferentes escenarios.

## 5. Conclusiones

Se espera continuar profundizando sobre las principales interacciones entre los componentes del sistema de silvopastoreo, que permitan consolidar un modelo teórico que sea soporte para el desarrollo de un simulador para las condiciones de nuestro país.

El modelo propuesto permite realizar una síntesis de las interrelaciones entre las dos producciones, brindando resultados en los aspectos productivos económicos y ambientales. Esta herramienta se puede utilizar en varios planos, en el caso de los productores mejora el proceso de toma de decisiones.

Se debe tener en cuenta que la incertidumbre en los resultados productivos de los modelos integrados, ha sido una de las principales barreras a la adopción de estos sistemas por parte de los productores. Mediante la simulación de diferentes marcos de plantación e integrando variables de mercado el productor puede construir diferentes escenarios con resultados tanto ganaderos como forestales y decidir tanto el marco de plantación que mejor se adecue a los objetivos ganaderos, como la proporción de área forestada. La segunda utilización de esta herramienta es la de aplicación académica como un instrumento de simulación para la docencia, por otro lado este modelo también utiliza variables ambientales que en la medida que se vayan ajustando permitirá dar información valiosa para académicos que trabajen en esa área.

## 6. Agradecimientos

Se agradece el financiamiento por parte del proyecto INIA FPTA-300 “Producción ganadera y forestal: modelos de integración económica-ambiental”, a la facultad de Agronomía, a las empresas forestales y especialmente a los productores ganaderos que permitieron realizar el trabajo de campo.

## 7. Bibliografía

AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola), Tablero de control forrajero. Available at: <http://www.crea.org.ar/tableroforrajero>.

ACOSTA, P., PASTORINI, V., 2010. Integrar para mitigar efectos del cambio climático y producir sustentablemente: ganadería – forestación. Seminario Técnico Diversificación y forestación a pequeña escala en Uruguay. INIA. Tacuarembó. , p.57. Available at: [http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos compartidos/14432111110101142.pdf](http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/14432111110101142.pdf).

VON BERTALANFFY, L., 1972. The history and status of general systems theory. *The Academy of Management Journal*, 15, pp.407–426.

BINKLEY, D. et al., 2013. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 288, pp.5–13. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.002>.

BOSCANA, M., VARELA, E., 2011. Factores que influyen en la incorporación del rubro forestal en predios agropecuarios de los departamentos de Florida, Flores y Durazno.

CARRANZA, C.A., LEDESMA, M., 2009. Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles. In *XIII Congreso Forestal Mundial*. Available at: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>.

CORRAL, J., 2000. *Notas sobre UML*,

DIEGUEZ CAMERONI, F. et al., 2012. Modelling of an Extensive Cattle Breeding Farm on Basaltic Soils. , pp.120–130.

DUURSMA, R.A., MÄKELÄ, A., 2007. Summary models for light interception and light-use efficiency of non-homogeneous canopies. *Tree Physiology*, 27(6), pp.859–870. Available at: <http://treephys.oxfordjournals.org/content/27/6/859.abstract>.

GALLO, L., 1998b. *Growth of Panicum maximum under Pinus caribea: overstory-understory relationships*. Turrialba, Costa Rica.

GALLO, L., LETOURNEAU, F. & VINCETI, B., A modelling case study: options for FGR management in Araucaria araucana ecosystems. *INTA*.

HART, R., 1985. *Sistemas Agrícolas. Conceptos básicos sobre Agroecosistemas*. , 211.

HIRIGOYEN, A., 2014. Sistema de apoyo a la gestión de plantaciones de eucaliptus globulus. Actualización 2014. *Revista INIA Uruguay*, pp.43–45.

LACORTE, S.M. et al., 2016. Silvopastoral Systems Developed in Misiones and Corrientes, Argentina. *Silvopastoral Systems in Southern South America*, pp.10–39.

LANGSAETER, A., 1941. *Om Tynning I enaldret gran-og furuskog*,

MAHECHA, L., 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15, pp.226–231.

MGAP, 2011. *Censo General Agropecuario 2011. Resultados definitivos*.

MGAP, 2015. *Regiones agropecuarias del Uruguay*,

MUNKA, C., BUSSONI, A., 2015. Mas tecnologías para la producción familiar. *Avance de proyectos N° 7*. Available at: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,drural,drural-tecnologias,0,es,0>.

- NUTTO, L., TOUZA VAZQUEZ, M.C., 2006. Modelos de producción de madera sólida en plantaciones de eucalyptus globulus de Galicia. *Boletín del CIDEU* 2, pp.37–50.
- PARUELO, J.M., GOLLUSCIO, R., 1994. Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia. *Journal of Range Management*, pp.408–502.
- PASSIOURA, J.B., 1996. Simulation Models: Science, Snake Oil, Education, or Engineering? *Agron. J.*, 88, pp.690–694.
- PERI, P.L., 2016. Silvopastoral Systems in Southern South America. , 11. Available at: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8>.
- ROVIRA, P., 2002. Efecto de la sombra artificial en el engorde de novillos durante los meses de verano. In: INIA Treinta y Tres. Jornada anual de producción animal: resultados experimentales. Treinta y Tres: INIA. *Serie Actividades de Difusión* 294, pp.79–95.
- SARAVIA, C. et al., 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia Uruguay*, 15(1), pp.93–102.
- SIMEONE, A., BERETTA, V., CAORSI, C.J., 2014. Forestación y Ganadería: cuantificando el efecto de la sombra y el abrigo de los montes sobre la performance animal. *Propuestas tecnológicas en ganadería para un país agrícola, ganadero y forestal. UPIC*, pp.24–27.
- SIMEONE, A., BUFFA, J.L., BERETTA, V., 2014. Ganadería, agricultura y forestación: cuantificando las sinergias entre rubros para un crecimiento armónico. *Propuestas tecnológicas en ganadería para un país agrícola, ganadero y forestal. UPIC*, pp.30–37.
- SOTO-AGUILAR, R.N., 2014. PRINCIPIOS AGRONÓMICOS: Bases para una Teoría Agronómica.
- TURNER, B.L. et al., 2013. ). Analyzing ranch profitability from varying cow sales and heifer replacement rates for beef cow-calf production using system dynamics. *Agricultural Systems*, 114, pp.6–14.
- UBA, Sistema de seguimiento forrajero. Available at: <http://larfile.agro.uba.ar/lab-sw/sw/gui/Inicial.page>.
- VAYSSIÈRES, J. et al., 2011. Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agricultural Systems*, 104, pp.146–161.
- VILABOA-ARRONIZ, J., 2009. El concepto de agroecosistemas y su aplicación en la ganadería bovina. Available at: [http://www.somas.org.mx/pdf/pdfs\\_libros/agriculturasostenible5/5\\_1/105.pdf](http://www.somas.org.mx/pdf/pdfs_libros/agriculturasostenible5/5_1/105.pdf).
- WEST, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 86(6), pp.2131–44. Available at: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).