



# NUEVAS METODOLOGÍAS DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO FORESTAL

Ing. Agr. Cecilia Rachid Casnati

Programa Nacional de Producción Forestal

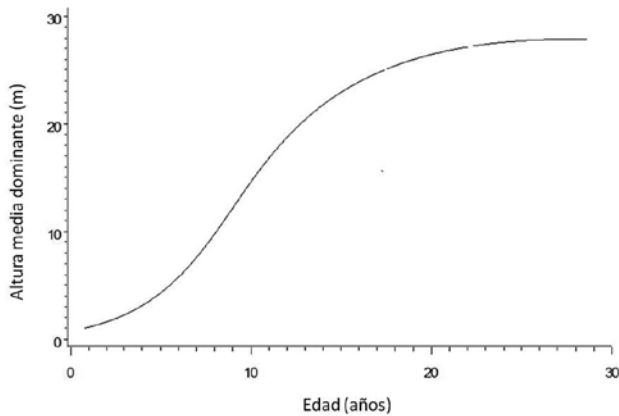
Los modelos de simulación de crecimiento son componentes esenciales de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones, constituyendo herramientas necesarias para el manejo de cultivos de largo plazo como son las plantaciones forestales comerciales. Ellos permiten estimar el crecimiento, producción futura y posibles productos maderables, explorar las consecuencias de la aplicación de diferentes prácticas de manejo, y así analizar relaciones precio-costo bajo diversos escenarios.

En la revista INIA N° 28, se explicó la importancia y algunos conceptos relevantes sobre los sistemas de apoyo a la gestión. También se ofreció una clasificación detallada de los modelos forestales, por lo que el lector puede referirse a dicha publicación para mayor información. El presente artículo busca informar sobre la investigación que viene llevando a cabo el Programa

de Producción Forestal de INIA en el desarrollo de modelos híbridos empírico-fisiológicos, como estrategia para atender mejor las necesidades tradicionales y los nuevos desafíos del sector forestal en el manejo de sus plantaciones.

## MODELOS HÍBRIDOS

Los modelos de crecimiento de uso público en Uruguay, desarrollados por INIA, son modelos que describen la relación de características dasométricas (por ejemplo, altura dominante y área basal) a nivel de rodal en función del tiempo. Estas relaciones se modelan utilizando funciones sigmoideas que prevén una fase inicial de multiplicación (incrementos crecientes) y otra de control de crecimiento (incrementos decrecientes) común a todos los organismos vivos hasta alcanzar un valor



**Figura 1** - Curva sigmoide utilizada para representar el crecimiento de rodales, expresando el cambio en la altura media dominante en función de la edad.

máximo (Figura 1). Este tipo de modelos son comúnmente llamados “modelos empíricos” y han sido una herramienta tradicional de manejo de rodales en Uruguay y otros países. Si bien son reconocidos por su sencillez y precisión principalmente, tienen como desventaja que las relaciones de causalidad son muy limitadas (si bien la edad de los rodales es una variable explicativa de muy sencilla medición, no ofrece demasiada información) por lo que son inflexibles ante cambios en las condiciones de crecimiento.

Por otro lado, los modelos fisiológicos se orientan a describir los procesos causales del crecimiento vegetal (fotosíntesis, respiración y partición de fotoasimilados) por lo cual ofrecen flexibilidad en cuanto a predicción ante variaciones en las condiciones de crecimiento. Estos procesos se describen a nivel bioquímico y se integran luego a nivel de órganos, plantas y rodales, con incremento de incertidumbre hacia los niveles más integrados de información. Por lo tanto, son modelos complejos con respecto al uso, de alto costo de desarrollo, de relativamente baja precisión en la descripción de fustes y pobre o nula información de los productos maderables.

Por este motivo, su uso se restringe al ámbito científico y rara vez son adoptados para el manejo de plantaciones comerciales. Sin embargo, algunos eco-fisiólogos modeladores han presentado modelos con descripciones y relaciones simplificadas de los procesos, en pos de su implementación para el manejo de plantaciones forestales. Este es el caso del modelo 3-PG (Landsberg y Waring, 1997) el cual ha sido parametrizado y aplicado a muchas especies forestales de interés comercial, entre ellas *Eucalyptus grandis* utilizado en plantaciones de la especie en Brasil y *Pinus taeda*. Recientemente

se ha probado en plantaciones correspondientes a esta última especie en Uruguay (Gonzalez-Benecke *et al.*, 2015).

Dada la importancia de contar con modelos para el manejo de rodales comerciales que ofrezcan información sobre cambios en la productividad asociados a cambios edafo-climáticos, y que a su vez sean precisos y ofrezcan una detallada y confiable descripción de los productos maderables, el desarrollo y uso de modelos híbridos es creciente. Estos modelos conjugan los dos tipos de modelos anteriormente descritos, donde las estrategias de combinación son variadas según las ventajas a enfatizar; en algunos casos se han unido dos modelos en secuencia, como es el caso de los modelos TRIPLEX (Peng *et al.*, 2002) y Forest 5 (Robinson y Ek, 2003). Estos modelos enfatizan la explicación de los procesos fisiológicos vegetales y los productos maderables a obtener, sin embargo sacrifican simplicidad.

En otros casos se han modelado directamente variables dasométricas utilizando algunos principios de eco-fisiología forestal, como es el caso de las formulaciones propuestas en base a sumas de luz potencialmente utilizables (Mason *et al.*, 2007) y sumas de radiación fotosintéticamente activa modificadas (Montes, 2012). Estas metodologías proponen sustituir la variable tiempo por acumulaciones de radiación mensuales modificadas por los principales factores que influyen los procesos de crecimiento vegetal como son: agua disponible, presión de vapor, temperatura o nutrición. Este tipo de formulaciones mantiene cierto grado de sencillez para el usuario y bajo costo de implementación debido a que la información necesaria para su desarrollo es de relativamente fácil acceso u obtención.



Es por eso que desde INIA se están desarrollando y evaluando modelos basados en sumas de luz potencialmente utilizables para dos de las principales especies de interés comercial en Uruguay: *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda*, a través de una capacitación e intercambio llevado a cabo con la Escuela Forestal de la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda).

**METODOLOGÍA PROPUESTA: INFORMACIÓN UTILIZADA, LIMITANTES Y USOS**

La metodología bajo estudio, basada en sumas de luz potencialmente utilizable (PULS) propuesta por Mason *et al* (2007), busca explicar el crecimiento de los rodales en función de la suma de radiaciones mensuales, modificadas por la disponibilidad de agua en el suelo, el déficit de presión de vapor y la temperatura. Estos tres factores reguladores de crecimiento toman valores de 0 a 1 y se calculan mayormente como se propone en el modelo fisiológico 3-PG (Landsberg y Waring, 1997), el cual se basa en la eficiencia en el uso de la luz. Esta metodología busca incorporar información de los procesos fisiológicos utilizando información comúnmente disponible a través de inventarios forestales. Es una abstracción que permite diferenciar tasas de crecimiento a nivel espacial (en diferentes localizaciones geográficas), pero también a nivel temporal, siendo posible

simular eventos de sequía, o también posibles incrementos de temperatura asociados al cambio climático, por ejemplo.

La metodología está siendo probada en plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda* localizadas en el norte, litoral y centro del país, en base a la plataforma de información meteorológica, y edafo-topográfica públicamente disponible a través del GRAS (INIA), RENARE (MGAP) e INUMET. El cálculo de radiación mensual ( $Mj.m^2$ ), basado en información de heliofanía diaria, incorpora además información de balance hídrico considerando el mapa de agua potencialmente disponible en el suelo, textura de los suelos predominantes, datos pluviométricos y cálculo de evapotranspiración mensual. El modificador de temperatura incluye información de temperaturas máximas y mínimas medias mensuales y las temperaturas cardinales de crecimiento para cada especie. Además, se adoptaron los parámetros fisiológicos disponibles en la amplia bibliografía referida a la aplicación del modelo 3-PG (Landsberg y Waring, 1997) para las especies de referencia.

En base a la plataforma de datos utilizados en el estudio, se muestra una clasificación de las parcelas, de acuerdo a tres categorías de promedios mensuales de radiación potencialmente utilizable para ambas especies (Figura 2).

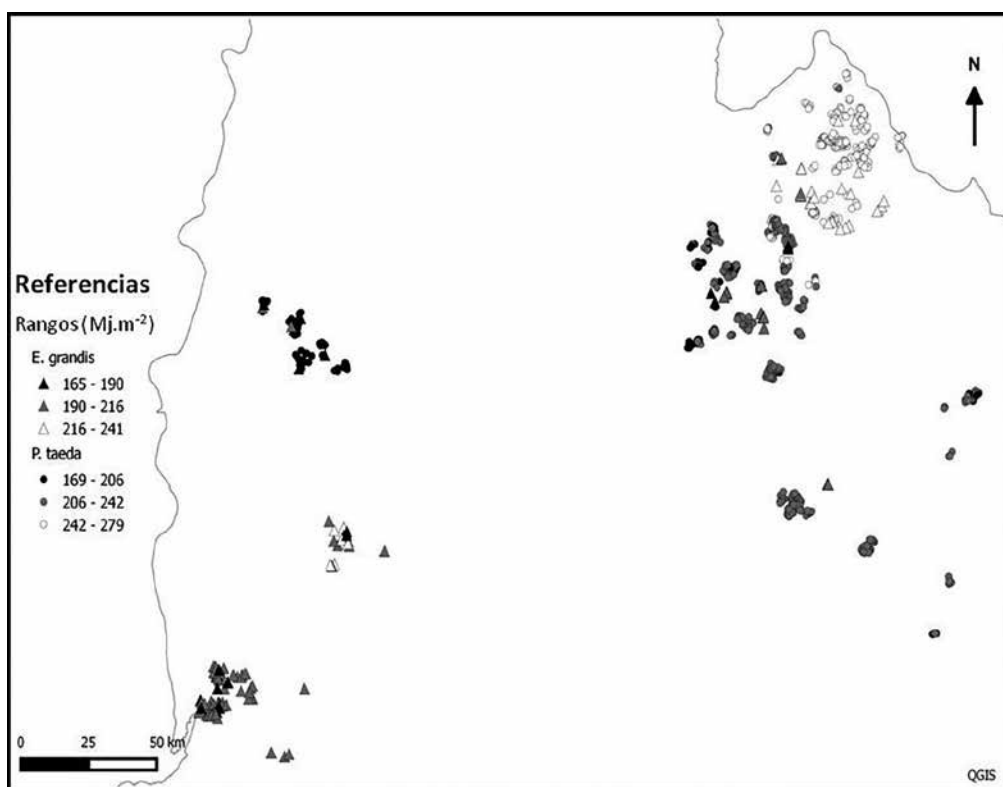


Figura 2 - Parcelas localizadas en el norte, litoral y centro del país, clasificadas en tres categorías de promedios mensuales de sumas de luz potencialmente utilizables para cada especie (Fuente: Rachid, 2016).



Se observa que tanto las parcelas de *Pinus taeda* como de *Eucalyptus grandis* ubicadas al norte, en el departamento de Rivera, tienen los mayores valores mensuales de sumas de luz potencialmente utilizable, lo que supone menores restricciones con respecto a uno o más de los factores considerados (disponibilidad de agua, déficit de presión de vapor y/o temperatura). Cabe destacar que el análisis de correspondencia de los promedios de sumas de luz con índices de sitios en las parcelas bajo estudio aún no ha sido abordado.

Los modelos de crecimiento híbridos empírico-fisiológicos son más complejos en su utilización debido a la mayor cantidad de información que engloban. Sin embargo, el contar con información de importancia fisiológica también permite incrementar la utilidad de estas herramientas, siendo posible: identificar factores limitantes del crecimiento en sitios donde aún no

se ha plantado, analizar las consecuencias de cambios temporales en el balance hídrico o temperatura sobre el crecimiento, así como también analizar las interacciones de dichos factores y niveles de daños por plagas y enfermedades. También sería posible simular los efectos de algunas prácticas de manejo que puedan influir sobre esos factores, por ejemplo, laboreos o riegos.

Desde INIA se planifica hacer disponible un Sistema de Apoyo a la Gestión sobre la base de los métodos aquí explicados. La consistencia de este tipo de sistemas depende de una metodología actualizada y de una base de datos extensa, en un trabajo conjunto entre los actores del sector forestal. Desde el Programa de Producción Forestal de INIA se asume principalmente el compromiso del primer elemento, cumpliendo con nuestro rol: la investigación.

