



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-243

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Avances en la simulación del régimen de podas en repoblaciones de *Pinus radiata* para la predicción madera limpia en el País Vasco

CHAUCHARD, L.<sup>1</sup>; DORRONSORO MINTEGUI V.<sup>2</sup>; ORIA ALÚSTIZA J. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Administración de Parques Nacionales/Universidad Nacional del Comahue, (9730) San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina. Correo@: [lchauchard@apn.gov.ar](mailto:lchauchard@apn.gov.ar), [chauchard@smandes.com.ar](mailto:chauchard@smandes.com.ar)

<sup>2</sup>Servicio Forestal de la Diputación Foral de Guipúzcoa, País Vasco.

Correo@: [vdorronsoro@gipuzkoa.eus](mailto:vdorronsoro@gipuzkoa.eus)

### Resumen

Entre 2004 y 2011 se realizaron estudios en un proyecto que contempla la aproximación de un Modelo de Poda para las repoblaciones de *Pinus radiata* en la provincia de Gipuzkoa, cuya finalidad es permitir evaluar el efecto de un determinado régimen de podas y claras sobre la producción final de madera libre o limpia de nudos. Sin embargo se considera que los resultados son aplicables al resto de las provincias del País Vasco.

El sistema facilita realizar estimaciones a largo plazo con el complemento de un modelo de crecimiento y es aplicable tanto para un rodal hipotético como juvenil, cuando el régimen de podas todavía no ha sido aplicado. El modelo propuesto emplea parámetros medios del rodal y se ha ensamblado con funciones obtenidas a partir de estudios propios en parcelas permanentes y se ha completado con funciones más complejas desarrolladas en Nueva Zelanda. El sistema permite comparar opciones de manejo, facilitándole al propietario aproximar el régimen óptimo para una repoblación joven o aún inexistente, en función de la calidad de estación considerada.

Uno de los mayores aportes del prototipo, es que define un algoritmo que puede ir guiando las investigaciones para ir mejorándolo por etapas, y completarlo con funciones propias del País Vasco.

El estudio fue patrocinado por el Departamento para el Desarrollo del Medio Rural de la Diputación Foral de Gipuzkoa, con la colaboración de HAZI y de la Asociación de Propietarios Forestales de Gipuzkoa.

### Palabras clave

Selvicultura, producción, manejo forestal.

### 1. Introducción

Para obtener la máxima rentabilidad de un patrimonio forestal, es necesario conocer sus potencialidades tecnológicas, en base a sus características físicas, mecánicas y químicas. En esa línea es fundamental que la estrategia productiva tenga una visión integradora entre el plan selvícola y la industria y el mercado que absorba dichas potencialidades tecnológicas. En el manejo de las repoblaciones de coníferas la poda es la operación selvícola que mejor concibe dicha integración, la cual bien diseñada, redundará en una mejora en la rentabilidad del propietario: *la poda es el único tratamiento selvicultural que otorga valor agregado al árbol en pie*, pero para ello debe existir, además de condicionantes selvícolas, un mercado que valore el producto final.

La poda es uno de los componentes habituales de un programa o plan de gestión de las repoblaciones con el fin de mejorar la calidad de la madera producida en la cosecha (Barrio Ante *et al.*, 2008). Si bien la definición de los parámetros de un régimen de poda, podría parecer como una simple receta a seguir, no es tan sencilla la tarea de predecir los efectos que tal régimen tendrá sobre la proporción de *madera libre o limpia de nudos* de la producción final. Ello adquiere mayor complejidad, cuando la receta no se sigue al pie de la letra o cambia según las necesidades de manejo.

No aplicar las podas o hacerlo inoportunamente, puede tener su origen en una o varias de las siguientes razones: índole económica o de caja, baja calidad de estación, falta de mercado real o potencial y finalmente una razón particularmente

interesante que es, el desconocimiento que tales decisiones ocasionan en la producción de madera limpia y por ende, en la rentabilidad de la inversión (Chauchard & Andenmatten, 2007).

Realizar la evaluación del recurso podado, además de ser importante en el momento de la venta en pie del rodal, también lo es en la planificación estratégica de largo plazo, cuando se necesite comparar entre distintos regímenes teóricos y la correspondiente asignación de recursos, los cuales serán recuperados en el largo plazo.

La predicción de la producción limpia del recurso podado de un rodal tiene tres niveles de resolución (Somerville *et. al.*, 1985, Chauchard & Andenmatten, 2007):

a- 1º Nivel de Resolución – Predicción de largo plazo: se basa en un conjunto de relaciones que permiten estimar en conjunto, la producción de madera limpia para un rodal hipotético o que está en etapa juvenil que se gestionará bajo un determinado régimen selvícola.

b- 2º Nivel de Resolución – Predicción de mediano plazo: se basa en un sistema que posibilita estimar la producción de madera limpia al turno a partir de los parámetros medidos de un rodal ya podado y a una edad intermedia y un conjunto de relaciones funcionales.

c- 3º Nivel de Resolución – Predicción de corto plazo: se aplica en rodales próximos a la edad de corta y la estimación puede hacerse empleando datos históricos de la poda y/o muestreo destructivo y empleando los parámetros actuales del rodal. Este sistema es aplicado para planificar la cosecha y la venta de los productos de la misma.

Para el diseño de un sistema que pueda predecir la madera limpia en el largo plazo (1º y 2º Nivel de Resolución), se requiere en primer lugar, disponer de un modelo que permita simular el régimen selvícola, como un simulador de crecimiento, para poder estimar los parámetros en cualquier momento de la vida del rodal. Luego, a partir de estos parámetros del rodal se aplican una serie de funciones de transición, vinculadas a las variables de poda, que permitirán obtener los parámetros más importantes del recurso podado y con ellos estimar la producción limpia en la cosecha. En definitiva, caracterizar el recurso podado implica modelar el crecimiento, la producción y los efectos del régimen de poda sobre la estructura del fuste. En este diseño se involucran tres tipos de variables, cuya participación dependerá del Nivel de Resolución que se estudie:

a) Variables de entrada: en general son variables dasométricas del rodal.

b) Variables de transición o intermedias: son variables que expresan parámetros vinculados a la poda y que por sí mismos ya permiten evaluar la efectividad de la misma.

c) Variables de salida: expresan de alguna forma la producción de madera limpia en la cosecha.

A mayor nivel de resolución, más mediciones directas de estas variables se realizan (Tabla 1).

*Tabla 1: Estado de los tipos de variables que componen la simulación de la producción de madera libre de nudos a partir de un régimen selvícola. Con el mayor nivel de resolución mayor medición directa del efecto del régimen de podas en la producción de madera limpia.*

Nivel de Evaluación	Variables Entrada	Variables Intermedias	Variables Salida
1º Nivel Resolución	Estimadas	Estimadas	Estimadas
2º Nivel Resolución	Medidas/Estimadas	Medidas/Estimadas	Estimadas
3º Nivel Resolución	Medidas	Medidas	Medidas

La madera limpia o libre de nudos es la porción de un fuste podado o el trozo de madera aserrada que presenta una mínima distorsión de la fibra, producto de defectos como nudosidades y madera de reacción.

## 2. Objetivos

Atendiendo al objetivo de gestionar las repoblaciones para mejorar la rentabilidad de la inversión a través de producir un porcentaje de madera limpia, el poder estimar la proporción de esta madera de calidad superior permitirá optimizar el manejo para alcanzar dicho objetivo. En el presente artículo se proponen una serie de etapas para el desarrollo de un sistema de simulación de los efectos de la poda, sobre la producción de madera libre de nudos. Para el mismo, se ha tomado como guía un modelo propuesto para repoblaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco (Chauchard & Olalde, 2005; Chauchard, 2006).

## 3. Metodología para desarrollar un modelo de poda

La estrategia para armar un esquema de simulación de largo plazo (1° a 2° nivel de resolución), se basó en desarrollar un sistema que en general, permita calcular las variables del cilindro central que contiene las ramas podadas y originan los nudos de la madera aserrada, para descontarlo del volumen bruto esperado de la troza o porción podada del fuste al momento de la cosecha (Fig. 1).

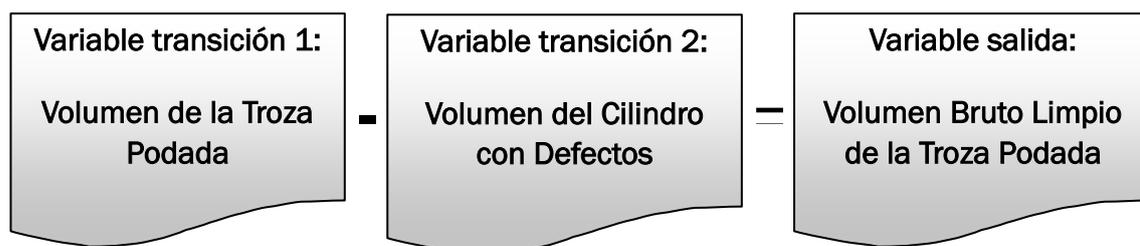


Figura 1: Esquema general para la estimación en pie de la madera limpia que produciría un régimen selvícola determinado. Las variables de transición se estiman a partir de variables de entrada y relaciones funcionales.

Cuanto mayor sea la diferencia entre el diámetro de la troza podada y el diámetro del cilindro con defectos (*DCD*) al turno, mayor será la producción de madera limpia y ello dependerá de la calidad de estación, el porte de los fustes podados de la masa principal, la eficacia del régimen de poda y del régimen selvícola establecido.

La estrategia ha incluido encontrar relaciones funcionales entre variables relacionadas con la poda a través de instalar parcelas temporales y permanentes en masas podadas (instaladas en 2004-05 y remedidas en 2011, ver metodología en Chauchard *et al.*, 2013) y luego para completar el modelo, utilizar funciones de estudios realizados en otros países con repoblaciones de *P. radiata*.

Con toda esta información se diagramó un esquema o modelo de interrelaciones para poder predecir el efecto de cualquier régimen de claras y podas sobre la producción del rodal.

### 3.1. Variables de salida

Hay dos variables principales para predecir, vinculadas y que constituyen dos etapas en el proceso de producción de madera libre de nudos comercializable. La primera es el volumen de madera libre de nudos en pie al momento de la cosecha, que se denomina *Volumen Bruto en Pie de Madera Limpia* (VBML) y la segunda es el volumen de madera limpia resultante del aserrado de los fustes podados, que se denomina *Volumen Neto de*

*Madera Limpia* (VNML).

Volumen Bruto de Madera Limpia: para determinarlo se debe estimar el volumen del recurso podado (fustes podados) al momento de la cosecha, al cual debe restársele el volumen de los cilindros con defectos (nudos) que contienen los mismos. Este parámetro no discrimina en los distintos productos de madera limpia que pueden obtenerse en el aserrado (madera corta y larga, productos limpios una o dos caras, etc.), ni las pérdidas producto de la transformación primaria, dado que expresa la cantidad de madera limpia estimada en un árbol en pie. Además, hay otra pérdida que se puede producir en el aprovechamiento, en el proceso de trozar el fuste, que usualmente se estima como un porcentaje de pérdida del volumen de la troza podada.

La estimación del volumen del recurso podado, entendiéndose de todos los fustes de la masa principal que llegan a la cosecha, se puede estimar con funciones del perfil del fuste y la alturas de podas prevista por el régimen. Es importante disponer de los tamaños o diámetros de los fustes, los cuales también se pueden expresar, en su forma más simple, como un valor medio el cual asociado a una altura media de poda permitiría obtener el volumen medio de los fustes podados.

Volumen Neto de Madera Limpia: para su estimación es necesaria la investigación del rendimiento del aserrío de trozas podadas bajo diferentes condiciones (largo, forma, régimen de podas, etc.). Ello requiere de establecer un esquema de aserrado determinado que haga comparable los resultados y facilite el análisis. Si bien la determinación de esta variable implica una investigación operativa en la serrería, ella debe poseer un alto control y vinculación de la gestión selvícola bajo la cual se han obtenido las trozas podadas.

### 3.2. Variables de entrada y de transición. Predicción de largo plazo (1º Nivel de Resolución)

El modelo se basó en tres variables de transición principales, las que necesitan relacionarse con variables dasométricas del rodal para poder ser estimadas. Estas variables dasométricas de entrada pueden ser, el diámetro, alguna altura y el área basal. Con estas funciones de transición ya es posible comenzar a caracterizar el impacto de la poda sobre los fustes.

Las variables de transición o intermedias son:

- a. Máximo diámetro sobre muñón o verticilo podado (*dsm*): estos diámetros se miden sobre o en el verticilo podado, de manera que incluye el grosor normal del fuste a la altura del verticilo más el largo de los muñones de las ramas podadas del mismo. Debe determinarse para cada aplicación de poda el máximo *dsm*.
- b. Máximo diámetro sobre la oclusión de un verticilo podado (*dso*): una vez cicatrizado el verticilo podado, se empieza a producir capas de madera sin nudos. Debe determinarse el máximo diámetro de verticilo ocluido o cicatrizado. Para ello es inevitable el empleo de una muestra destructiva.
- c. Diámetro del cilindro con defectos (*DCD*): viene dado por el cilindro hipotético localizado en el centro de un fuste podado y cicatrizado, que contiene toda la madera defectuosa (Maclaren, 1993; Morales Assad, 1999). El tamaño de este cilindro es expresado por su diámetro (Park, 1994) y estará determinado por el máximo *dso* y la rectitud de la troza podada (grados de sinuosidad de la médula). Al igual que la anterior, requiere para su determinación de muestreos destructivos.

## 4. Resultados

El prototipo ensamblado con funciones propias y aquellas publicadas para la especie se diseñó en una planilla Excel a los fines de ir ajustando las salidas intermedias y finales (Fig. 2).

#### 4.1. Variables de salida: funciones para la estimación de los rendimientos en aserrío

Los estudios de Park (1980, 1994) de las consecuencias del régimen de poda sobre el DCD y la posterior transformación primaria de la troza podada son adecuados para completar el desarrollo de un simulador. El autor ha desarrollado tres funciones de conversión, de las cuales dos de ellas utilizan un índice (en inglés *Pruned Log Index - PLI*), el cual contribuye a explicar la calidad de la troza podada para el rendimiento de madera limpia en su transformación por aserrado. Los productos aserrados limpios de *Pinus radiata* se clasifican según el largo y grado de defectos que presenten las piezas (madera larga una o dos caras limpias - denominadas grado *Clear*; madera corta limpia - denominada grado *clearcutting*)

Función de Conversión en madera aserrada:

$$CMA = 126,5 - 186,4/CP$$

Función de Conversión en madera limpia en las dos caras:

$$CML = 67,01 - 90,64 \exp(-0,15 PLI)$$

Función de Conversión en madera limpia en una cara:

$$CML1 = 62,75 - 81,94 \exp(-0,24 PLI)$$

Donde:

- CMA*: Porcentaje de conversión de la troza en madera aserrada.
- CP*: Es un factor de conversión potencial (Park, 1980, 1994, 1995).
- CML*: Porcentaje de conversión en madera limpia dos caras.
- CML1*: Porcentaje de conversión en madera limpia una cara.
- PLI*: Índice de Troza Podada - Pruned Log Index (Park, 1980, 1994, 1995).

Estas funciones se obtuvieron de trozas con diferentes grados de curvaturas o sinuosidades de las médulas, provenientes de regímenes bien aplicados y bajo un esquema de aserrado determinado que produce tablas de una pulgada de espesor.

Sin embargo en alguna etapa de la simulación debe incluirse el impacto de la curvatura de la troza para predecir la reducción de la producción de madera limpia con la peor forma de la troza podada, bajo el mismo esquema de aserrado establecido para el estudio de las trozas rectas.

#### 4.2. Variables intermedias: funciones para la estimación del Diámetro sobre los Muñones de la poda (*dsm*)

Se emplean funciones usualmente lineales simples que vinculan esta variable con variables dimensionales de los árboles. El objetivo de estas funciones es poder determinar el máximo *dsm* para cada poda aplicada. Para las repoblaciones de *P. radiata* en el País Vasco se ha ajustado una función lineal para estimar el *mdsm* a partir del diámetro normal (*dn*) (Chauchard *et al.*, 2013):

$$mdsm = -1,51836 + 1,94516 dn - 0,057841 dn^2 + 0,000972022 dn^3$$

Donde:

- mdsm*: máximo diámetro sobre muñón o verticilo podado.
- dn*: diámetro normal.

#### 4.3. Variables intermedias: funciones para la estimación del Diámetro sobre la oclusión de la herida (*dso*)

Inicialmente se siguieron los trabajos de Park (1982) y Gosnell (1987) sobre las relaciones entre las variables *dso* y *dsm*, sin embargo a partir de los estudios realizados en el País Vasco se ha podido ajustar una función para *P. radiata* (Chauchard et al., 2013):

$$dso = 17,4606 + 0,79945 dsm + 0,180618 dn$$

Donde:

*dso*: diámetro sobre oclusión o cicatrización del verticilo podado, en cm.

*dsm*: diámetro sobre muñón o verticilo podado, en cm.

*dn*: diámetro normal, en cm.

#### 4.4. Variables intermedias: funciones para la Estimación del *DCD*

Se ha encontrado que se puede estimar en forma precisa al *DCD* a partir de variables como *dsm*, *dso*, la altura de la poda (*hp*) y alguna expresión del desvío o sinuosidad (*S*) de la médula (Park, 1982; Gosnell, 1987; Morales Asaad, 1999). La función variará según se quiera estimar el tamaño del cilindro total (incluye la altura total de la poda) o el cilindro parcial, es decir de algún rango de altura de levante de poda en particular.

Park (1982) presenta la siguiente función:

$$DCD = 62,98 + 0,995 mds$$

Donde:

*DCD*: Diámetro del cilindro con defectos expresado en mm.

*mdsm*: máximo diámetro sobre muñón en mm.

Para el ajuste de esta ecuación Park empleó 161 rollizos rectos de largos entre 4,9 y 5,5 m, si bien en realidad la muestra contiene trozas con desviaciones de hasta 30 mm (desvío con el cual todavía la troza puede considerarse recta).

Mientras que Morales Asaad (1999) en Chile estableció una función similar a la de Park:

$$DCD = 4,2729 + 0,944797 mds \quad (6)$$

Donde:

*DCD*: diámetro del cilindro que contiene las ramas podadas, en cm.

*dsm*: máximo diámetro sobre muñón, en cm.

Por su parte Gosnell (1987) desarrolló una función tratando de separar el efecto de la oclusión del que ocasiona la sinuosidad de la médula, incorporando a esta última como una variable regresora (*S*). Todas las variables en milímetros.

$$DCD = 46,01 + 0,95 dso + 0,003 S^2$$

Donde:

*DCD*: diámetro del cilindro que contiene las ramas podadas.

*dso*: diámetro sobre oclusión del verticilo podado.

*S*: sinuosidad de la troza medida como la flecha o desvío ocasionado por la curvatura en el peor plano respecto a un eje hipotético recto. Rango: 3-224 mm.

## 5. Discusión

Siguiendo el esquema de la Figura 1, un punto clave es establecer los tamaños de los fustes al momento de la cosecha (Variable de Transición 1) y ello dependerá, además de la

calidad de estación, del manejo del número de pies a lo largo del turno y la edad de cosecha escogida.

En este artículo se ha presentado una línea de trabajo para el desarrollo de un simulador, la cual se ha seguido para el desarrollo de un prototipo que se ha empleado en el País Vasco para comparar y optimizar regímenes de podas y raleos (Fig. 2). Los detalles de lo presentado se pueden encontrar en la bibliografía citada.

Estos estudios requieren la materialización de un programa de investigación que contenga dos etapas bien vinculadas: a) el estudio de la gestión selvícola y b) el estudio de la transformación de los productos brutos de dicha gestión. Para la etapa selvícola se debe proveer de los datos de masas podadas en diferentes condiciones y del seguimiento de parcelas permanentes que permitan evaluar el efecto de las podas en un determinado régimen selvícola sobre la conformación de la madera del fuste podado. Esta etapa implicará ineludiblemente de un estudio destructivo. La etapa industrial toma los productos podados y a partir de conocer la selvicultura que los originó, debe establecer el rendimiento de madera limpia en la transformación y ello hacerlo tanto con trozas rectas y bien podadas (datos de referencia) como con trozas clasificadas con grados de curvaturas preestablecidos y también con aquellas provenientes de regímenes de podas inadecuados.

## 6. Conclusión

La importancia de poder contar con un simulador de este tipo tiene más valor en la posibilidad de comparar la producción limpia entre diferentes regímenes que en predecir un determinado volumen de producción, principalmente en los prototipos preliminares, como el presentado. Además contar con una secuencia de cálculos como se expone es una ayuda importante para establecer líneas de investigaciones operativas, que ineludiblemente tiene que ser parte de un programa de largo plazo.

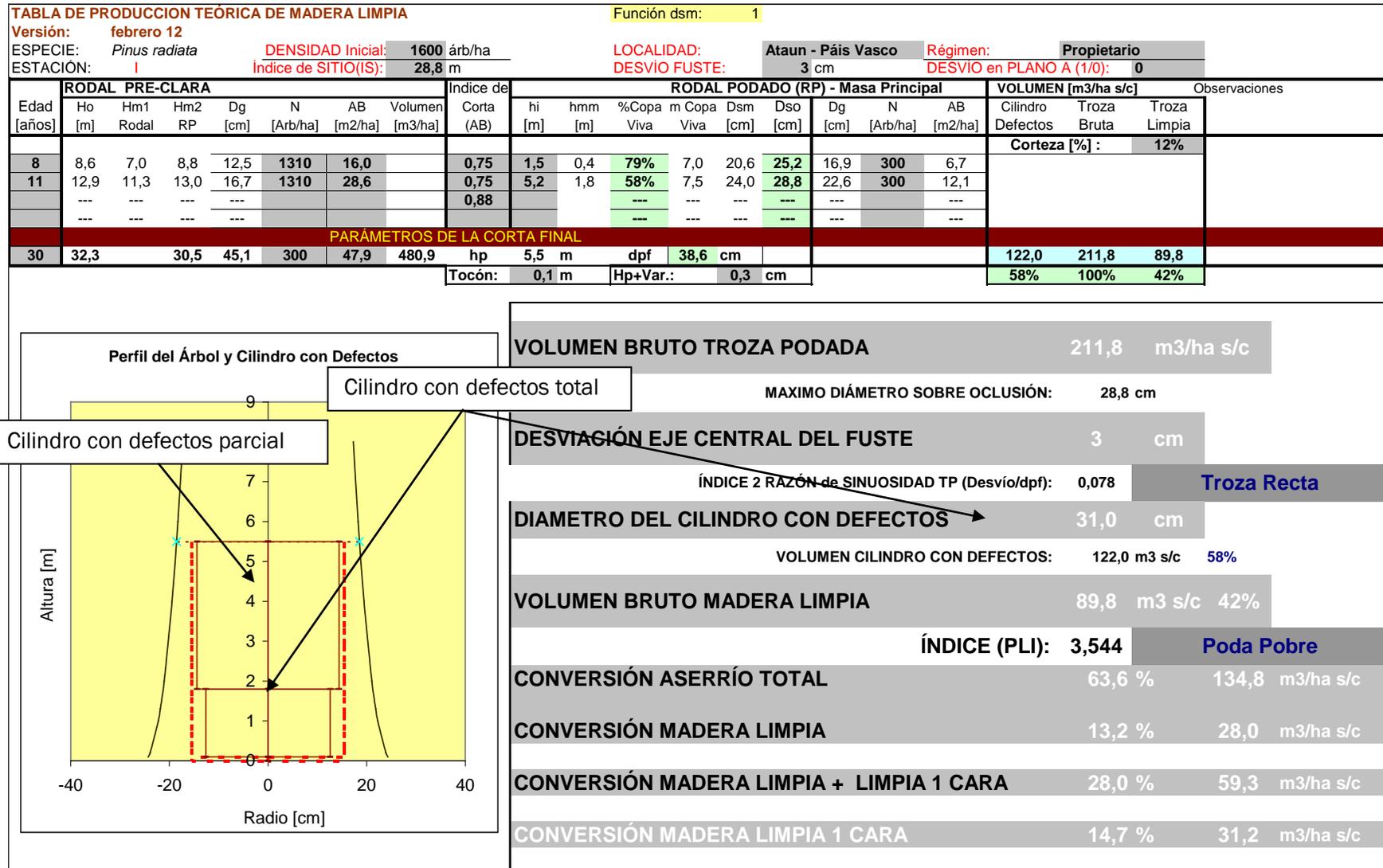


Figura 2: Estructura del simulador de poda desarrollado para P. radiata producto de la investigación selvícola y que constituyó la base para la propuesta de la investigación de largo plazo. El simulador permite rápidamente evaluar regímenes y compararlos en su rendimiento en madera limpia. Las celdas en gris de la tabla superior constituyen los datos de entradas.

## 7. Bibliografía

CHAUCHARD L., OLALDE M., 2005. Modelo de Poda para Pino Radiata. Nota Técnica, inédito, IKT SA, Vitoria, España, 40 p.

CHAUCHARD L. y OLALDE M., 2006. Correcciones a la poda de Pino Radiata en Euskadi. Rev. Euskadi Ftal (4): 36-39. País Vasco, España.

CHAUCHARD L. y ANDENMATTEN E., 2007. Simulación de la poda para la predicción de madera limpia. Acta Jornadas Eco-Forestar, CIEFAP. Esquel, Argentina. 6 p.

CHAUCHARD L., OLALDE M., ORIA ALÚSTIZA J., ZELAIA JUARISTI L., DORRONSORO MINTEGUI V., URBIZU TELLERÍA I., ERAUSKIN GARMENDIA J., HURTADO ARRIZABALAGA R.; 2013. Funciones de variables de poda para Pino Radiata en el País Vasco, España. Acta 6º Cong. Ftal. Español 01-173, 17 p. Vitoria, España.

BARRIO ANTA M., CASTEDO DORADO F., MAJADA GUIJO J., HEVIA CABAL A.; 2008. Manual básico de la poda y formación de los árboles forestales. Ed. Mundi-Prensa. 255 p. Madrid, España.

GOSNELL T., 1987. Equations for predicting defect core size for pruned radiata pine butt logs. FRI Buletin N° 131, 20 pp.

MACLAREN J., 1993. Radiata Pine Growers' Manual. FRI Bulletin N° 184. New Zealand For. Res. Inst. 140 p.

MORALES ASAAD A., 1999. Evaluación técnico-económica de dos regímenes silviculturales aplicados a Pinus radiata D. Don para la producción de madera libre de nudos en sitios de alta calidad en Chile. Tesis de Grado. Fac. Cs. Ftales, Universidad Austral de Chile. 105 p.

PARK J.C., 1982. Oclusion and the defect core in pruned radiate pine. NZFS, FRI Bulletin 2: 1-15. Nueva Zelanda.

PARK J.C., 1994. Evaluating pruned sawlog quality and assessing sawmill recoveries in New Zealand. Forest Products Jour. 44(4): 43-52. Nueva Zelanda.

PARK J.C., 1980. A grade index for pruned butt logs. NJFS, 10(2): 419-438. Rotorua, Nueva Zelanda.

PARK J.C., 1995. Pruned log evaluation and conversion developments in New Zealand. Silvotechna VI, Nueva Zelanda, Inédito, 61 pp.