

# **CUANTIFICACIÓN DE RIESGO FINANCIERO DEBIDO A TORMENTAS DE VIENTO A NIVEL DE PATRIMONIO FORESTAL EN LOS LLANOS DE CANTERBURY EN NUEVA ZELANDA**

**Horacio Bown <sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Ing. Forestal (U. de Chile), M.Sc. Forestry (U. of Canterbury). Departamento Manejo de Recursos Forestales, Universidad de Chile. Casilla 9206. Santiago-Chile.

## INTRODUCCIÓN

El viento es uno de los factores de riesgo más importantes en plantaciones forestales en Nueva Zelanda. De hecho, el daño por viento es significativamente mayor que el daño causado por fuego, el cual es responsable de sólo una pequeña proporción de la pérdida total de plantaciones (Somerville, 1989). En cambio, el volteo por viento puede afectar una significativa proporción del patrimonio forestal, como lo demuestra un estudio realizado por Wendelken (1966), quien describió la ocurrencia de volteo y quiebre de árboles en un 60 por ciento del área de bosques de *Pinus radiata* sobre los 18 años después de una tormenta en Eyrewell (Canterbury), en 1964.

Sorprendentemente, no fue hasta 1989 que el daño por viento recibió la debida atención. La comunidad profesional interpretaba el daño catastrófico por viento como un evento desafortunado. Además, se pensaba que el manejo no podía hacer nada para remediarlo. Hoy en día, los profesionales han cambiado de opinión debido a una reciente investigación en el tema, que sugiere que el daño catastrófico por viento es un importante factor de la producción, y que a través del uso de estrategias silviculturales y de gestión apropiadas, su efecto puede ser minimizado (Somerville, 1989).

Debido a que el daño catastrófico por viento trae consigo pérdidas económicas, es que se requieren algunas herramientas de gestión para evaluar el impacto de estos eventos sobre el sistema productivo. Los modelos disponibles de planificación del patrimonio forestal en Nueva Zelanda son capaces de evaluar el riesgo desde un punto de vista determinístico. Estos modelos, se comportan bien cuando el riesgo puede ser considerado como una proporción constante del bosque que es afectada cada año. Este enfoque ha sido aplicado exitosamente por Reed y Errico (1986) al analizar riesgo de incendios en Canadá. Sin embargo, el daño catastrófico por viento no se comporta de esta forma ocurre

raramente pero cuando lo hace, afecta una gran proporción del bosque en forma parcial o completa. Bajo estas condiciones, los modelos disponibles fallan en o representar apropiadamente el sistema forestal y de allí que se requiera un nuevo enfoque.

Debido a esto, se planteó examinar el problema de cosecha cuando existe el riesgo de ocurrencia de eventos catastrófico para los resultados con la solución determinística en un caso de estudio

## MATERIAL

El sistema en estudio es una empresa privada que administra y maneja plantaciones de Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) en los llanos de Canterbury en Nueva Zelanda. El objetivo principal de la compañía, es operar un negocio exitoso pero consistente con los principios de conservación.

La compañía posee un total de 8.412 ha de Pino radiata que fueron agregadas en seis diferentes macro-rodas (agrupación de rodas de características similares) de acuerdo a diferencias en productividad y manejo (Bown, 1996).

Las plantaciones de la compañía están sujetas a vientos catastrófico que ocurren en promedio una vez cada 28 años en Canterbury. Esto trae consigo pérdidas financieras de importancia. El volteo por viento, tiene un efecto negativo en el flujo de caja, porque aumenta los costos y decrece los ingresos. Los costos aumentan porque la mayoría de los árboles yacen en el suelo y las operaciones de recuperación tienen un costo más elevado. Además, los costos de establecimiento aumentan debido al mayor volumen de desecho dejado en el terreno al momento de la plantación.

Los ingresos decrecen debido al menor volumen recuperado, a las trazas más pequeñas, a la apariencia de los productos y a la falta de mercados capaces de absorber una gran producción en el corto plazo.

Para dar una idea de la magnitud del problema, la empresa Selwyn Plantation Board, estima que el 90 por ciento de toda la madera que ha cosechado desde principios de siglo en los llanos de Canterbury ha sufrido el volteo por viento (Studholme, sin fecha).

Desde el punto de vista de la gestión forestal, el problema es crítico, porque no es posible predecir cuándo ocurrirá la próxima tormenta de viento como tampoco su magnitud ni cómo esto afectará la futura oferta de madera ni la futura distribución de edades en el patrimonio. Sin embargo, el fenómeno no es completamente incierto y algún conocimiento empírico ha sido acumulado. En áreas afectadas, los árboles pueden ser volteados o quebrados. Los árboles volteados usualmente no son dañados y pueden ser recuperados en un período de menos de cinco años. Históricamente, la mayoría de los árboles quebrados no han sido utilizados económicamente, pero ellos necesitan ser volteados para disminuir el riesgo de accidentes durante la cosecha y para permitir el restablecimiento de la plantación. Se estima que uno de cada 5 árboles fue quebrado durante una tormenta ocurrida en 1975 en Canterbury (Selwyn Plantation Board) <sup>1</sup>

## MÉTODO

La metodología de esta investigación consta de dos partes: la modelación estocástica del volteo catastrófico por viento y la modelación del patrimonio forestal. La modelación estocástica se refiere a una función de distribución de probabilidad capaz de representar la ocurrencia y la magnitud de daño de una tormenta de viento. La modelación de patrimonio se refiere a la representación del patrimonio forestal a través del tiempo. Estos dos componentes se integran para cumplir el objetivo de la investigación.

## Modelación estocástica

Se creó una función de distribución de probabilidad capaz de representar el daño causado por viento basada en información histórica de la región de Canterbury. La función describe la ocurrencia y la magnitud del daño por viento sobre un horizonte de planificación de 50 años. El desarrollo de esta función estuvo basada en los enfoques seguidos por Reed y Errico (1986) en Canadá y por Manley y Wakelin (1989) en Nueva Zelanda.

## Ocurrencia

Se define ocurrencia como el intervalo de tiempo entre dos tormentas sucesivas. Obviamente, este intervalo no es una constante comportándose como una variable aleatoria. Esta investigación supone que las tormentas catastróficas en Canterbury tienen un período de retorno de 28 años (Selwyn Plantation Board) <sup>1</sup>. Este valor corresponde al intervalo de ocurrencia considerando registros históricos disponibles desde 1919.

Buongiorno y Gilles (1987) proponen una distribución de probabilidad exponencial para representar la ocurrencia de eventos catastróficos que se comportan de acuerdo a un período de retorno. Esto significa, que la función es capaz de generar intervalos de tiempo aleatorios entre dos eventos catastróficos sucesivos, que en promedio después de un gran número de observaciones, tiende a ser igual al período de retorno de la tormenta. La función queda completamente definida por el parámetro "m", que es la tasa promedio anual de ocurrencia de eventos catastróficos por año. Así, la probabilidad "P" de tener un evento catastrófico en un período de tiempo "T" es:

$$P(0 < t <= T) = 1 - e^{(-mt)} \quad (1)$$

Despejando términos y expresando "T" en función de su probabilidad, da la ecuación 2. Así, un número aleatorio "R" puede ser generado con una distribución uniforme de probabilidad y , puede ser aplicado sobre la ecuación 2, para calcular un intervalo de tiempo aleatorio entre dos tormentas sucesivas de viento.

$$T = (-\ln(1-R))/m \quad (2)$$

Donde

T es el intervalo de tiempo entre dos tormentas sucesivas

R es un número aleatorio entre 0 y 1 la función se usó repetidamente con el objetivo de generar tantas tormentas de viento como fuese requerido para completar el horizonte de planificación dado para la modelación del patrimonio. En la Figura 1 se muestra la probabilidad  $p$  de tener una tormenta durante un período de tiempo "TW considerando un período de retorno de 28 años.

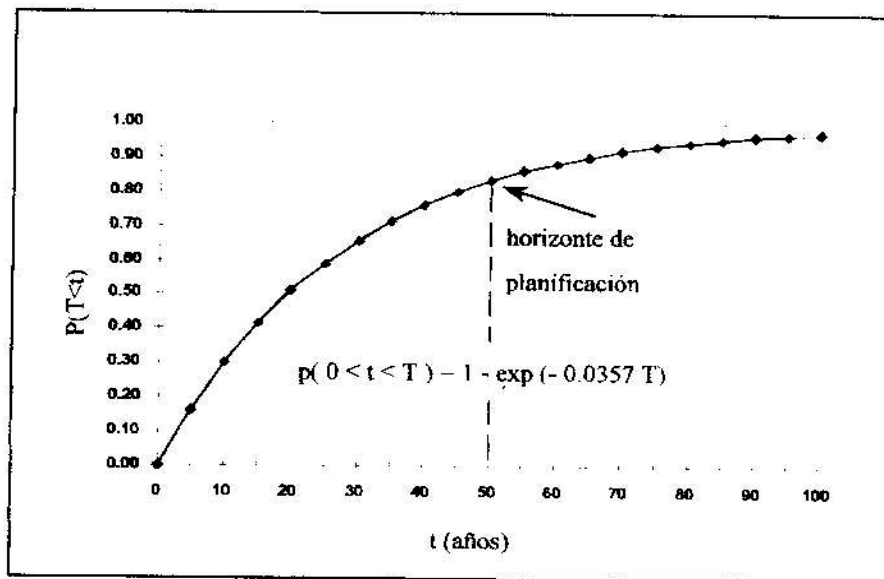


FIGURA 1. Probabilidad de ocurrencia de volteo por viento en T años

Como resultado de ello, se encuentra que hay un 30% de probabilidad de tener volteo por viento en un perrada de 10 años ( $T=10$ ), 51% en un perrada de 20 años, 66% en un período de 30 años y así sucesivamente. En un perrada de 50 años (el horizonte de planificación), la probabilidad de volteo por viento es de un 83%. Finalmente, en un período de 100 años la ocurrencia de volteo por viento es prácticamente cierta (97%). Se puede apreciar que este enfoque podría ser aplicado a otros fenómenos catastróficos

que se comportan de acuerdo a un perrada de retorno.

### Magnitud de daño

Manley y Wakelin (1989) concluyeron que la probabilidad de que un rodal sea volteado por el viento no es constante a lo largo de su vida y aumenta con la edad. Esto ha sido apoyado por Miller y Ouine (1991) en la Gran Bretaña. Ellos explican que el torque ejercido por el viento es mayor mientras más altos

sean los árboles, debido a que el brazo de palanca es mayor. Debido a lo anterior, los mismos autores determinaron la altura (edad) crítica a la cual el volteo de los árboles comienza.

Consistentemente se encontró un mínimo daño para rodales inferiores a 10 años de edad en el bosque de Taupo, después de que el ciclón Bola volteó parcialmente el bosque en 1982 (Manley y Wakelin, 1989). En forma similar, no se registró daño en árboles menores de 15 años durante la tormenta de 1975 en Canterbury (Selwyn Plantation Board, 1995).

La Tabla 1 muestra una comparación entre la función descrita por Manley y Wakelin (1989) para el ciclón Bola en Taupo y la función utilizada en este estudio usando como base una tormenta de viento ocurrida en 1975 en Canterbury.

### Análisis de riesgo

El análisis de riesgo es una de las más importantes aplicaciones de simulación de eventos discretos. Usualmente, el objetivo del análisis, es evaluar la factibilidad financiera de una inversión propuesta, basado en un criterio de decisión financiera, como

por ejemplo el valor presente neto (VPN).

El resultado de la aplicación del método de análisis de riesgo determina una distribución acumulativa de frecuencias para el criterio de decisión. Como resultado de ello, se puede conocer no sólo el valor esperado del criterio de decisión, sino que también las posibilidades de lograr un mayor o menor valor (Gottfried, 1984).

Una de las consideraciones más importantes es la simulación de eventos discretos, es la estimación del número de observaciones aleatorias requeridas para la construcción de una distribución de frecuencias para el criterio de decisión. Desafortunadamente, no existe una respuesta única. Usualmente, se estima el número de observaciones requeridas para determinar un intervalo de confianza para la media. Para los efectos del estudio, este proceso se realizó en dos etapas. Primero se efectuó una corrida de prueba con 100 simulaciones, calculando el promedio y la desviación estándar del criterio de decisión. Luego, se calculó el número de observaciones requeridas basado en estas estadísticas y en la distribución de  $t$  (Gottfried, 1984).

**Tabla 1.** Comparación de magnitudes de daño de dos tormentas diferentes.

Edad	Proporción de área volteada en Taupo durante el ciclón Bola en 1982	Proporción de área volteada en Canterbury durante la tormenta de 1975
0 - 5	.04	.00
6 - 10	.06	.00
11 - 15	.35	.00
16 - 20	.65	.53
21 - 25	.85	.85
26 - 30	.81	.87

**Fuente:** Manley y Wakelin (1989) & Selwyn Plantation Board (1995) <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Selwyn Plantation Board Ltd. 1995. comunicación personal.

**Número de observaciones requeridas:**

$$n = (t^2 c^2 / e^2) + 1 \quad (3)$$

donde:

- t = el valor de t basado en el nivel de confianza deseado
- c = el coeficiente de variación del VPN para la corrida de prueba (i.e. razón entre la desviación estándar y el promedio de la corrida de prueba)
- e = el porcentaje de variación deseado para la media (e.g. 0,01 es + - 1 %)

Los resultados de esta fórmula fueron tomados como referencia y arbitrariamente fueron aumentados al doble para asegurar el logro de un adecuado número de corridas. Esto se realizó debido a que la distribución del VPN no fue simétrica alrededor de la media mientras que la distribución de t si lo es.

**Modelación del patrimonio forestal**

Esta sección discute el manejo del patrimonio forestal, entendiendo por esto último, la agregación de rodajes a nivel del bosque,

de la empresa. de la región o del país, con énfasis en el análisis de riesgo catastrófico. El modelo seleccionado en esta investigación, sigue la estructura de un Modelo III (Modelo A) de acuerdo a la clasificación seguida por García (1990).

La gestión está orientado a plantaciones forestales que son manejadas en forma intensiva. Así, la planificación forestal estará preocupada acerca de cuándo, dónde y cuánto cortar para lograr los objetivos de la gestión a un nivel aceptable.

El patrimonio se conforma de un número de rodajes que serán cosechados en algún momento a lo largo del horizonte de planificación. Los rodales se agrupan en macro-rodales de acuerdo a similitudes predefinidas. Los rodales dentro de un macro-rodal son sujetos al mismo tratamiento silvicultural y el mismo flujo potencial de entradas y salidas.

La figura 2, muestra la estructura básica del problema de planificación forestal de acuerdo al enfoque seguido por García (1990).

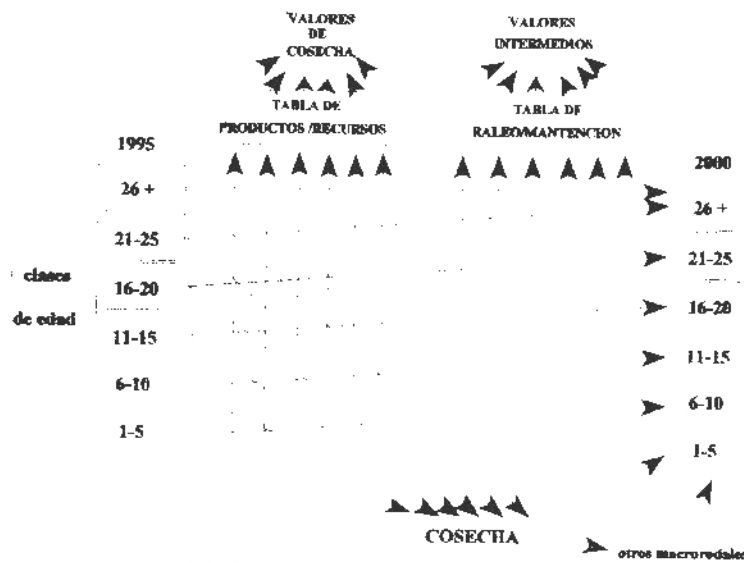


FIGURA 2. Estructura básica del problema de planificación forestal. Fuente: García (1990)

El sistema forestal, puede ser descrito en cualquier punto del tiempo a través de una cuantificación de áreas en cada macrorodal en el período precedente y una función de transición que especifica cómo el estado del patrimonio cambia en el tiempo. En la figura 2, se muestra que el estado del bosque en el período  $t + 1$  (2000) es una función lineal del estado del bosque y de las intervenciones realizadas (áreas cosechadas y establecidas) en el período  $t$  (1995).

La figura 3, muestra un diagrama del sistema propuesto para enfrentar el problema de riesgo catastrófico. El sistema, planifica la cosecha a largo plazo, evitando detalle excesivo. El sistema se basa en un modelo de optimización y en un modelo de simulación. Esos modelos, fueron creados y configurados para ser compatibles y usar

información común. Esta información común está estructurada por dos componentes, la descripción de una distribución de probabilidad de daño catastrófico por viento (ocurrencia y magnitud de daño); y la descripción del patrimonio forestal (áreas por clases de edad dentro de los macro rodales, rendimientos, proporción de productos, precios y algunos parámetros financieros). Esta información fue usada por el modelo de optimización, para encontrar la solución óptima bajo condiciones determinísticas. El modelo de optimización requirió información adicional acerca de las restricciones que deben ser impuestas sobre el sistema forestal, e incluidas en la formulación del problema. El modelo de simulación, modificó la solución óptima usando un criterio que ha sido llamado "tasas proporcionales" (Bown, 1996).

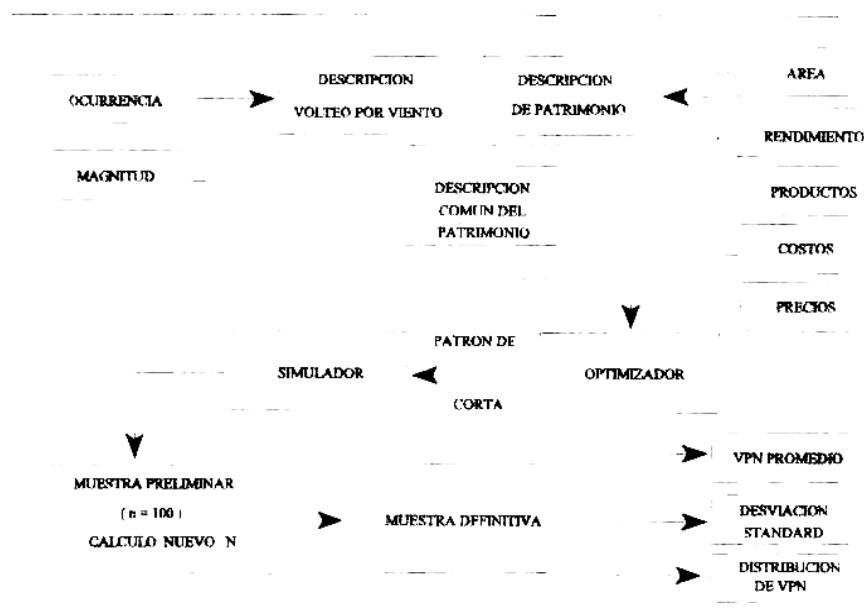


FIGURA 3. Descripción del sistema usado para enfrentar el problema de riesgo catastrófico a nivel de patrimonio forestal.

Se utilizó una muestra preliminar para estimar el número de observaciones requeridas para representar apropiadamente el riesgo catastrófico (100 corridas del simulador). Luego el modelo de simulación se evaluó

para otra muestra, equivalente al número de observaciones estimadas en la etapa anterior y, basado en esta información, se calculó la media, la desviación standard, el intervalo de confianza para la media y la distribución

de frecuencias para el VPN.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un modelo determinístico es aquel que para una entrada dada de datos dará siempre el mismo resultado, independiente de cuantas veces se corra el modelo. En cambio, un modelo estocástico, es aquel que para una entrada dada de datos siempre dará un resultado diferente, como resultado de los componentes aleatorios operando en el sistema (Manley y Wakelin, 1989). En este estudio, determinístico significa que el patrimonio forestales modelado sin considerar la ocurrencia de volteo por viento. En cambio, estocástico significa que la modelación del patrimonio forestal considera la ocurrencia aleatoria de volteo por viento. Así, existirá solamente una solución determinística, pero un gran número de soluciones estocásticas debido a que el volteo por viento puede ocurrir con tiempos e intensidades diferentes.

Se han hecho varios supuestos para llevar a cabo esta investigación. Todas las simulaciones fueron hechas sobre un horizonte de planificación de 50 años. El tiempo y la edad de los rodales fue agregado en períodos de cinco años para reducir el número de variables de decisión, y porque el modelo asume que el período de recuperación del material volteado es el mismo que el de la agregación del tiempo. No se consideró una penalidad sobre el precio de la madera volteada en relación a la cosechada normalmente. Se asumió que el 20 por ciento del volumen realizable se pierde a consecuencia del volteo por viento. No se consideraron costos incrementales. La fuente de todos estos supuestos fueron comunicaciones del personal de Selwyn Plantation Board en 1995.

El problema de la planificación de cosecha fue optimizado considerando restricciones del flujo de madera y de regulación. Las restricciones del flujo de madera fueron planteadas de tal forma que el volumen desde un período al siguiente no variara más de un 10 por ciento. Las restricciones

de regulación fueron planteadas de tal forma, que al final del horizonte de planificación hubiera al menos 1.500 ha en las primeras cuatro clases de edad. Es decir, 1.500 ha en la clases de edad 1 a 5 años, 1.500 ha en la clase de edad 6 a 10 años y así sucesivamente.

### Valor presente neto y parámetros estadísticos

Se utilizó un simulador de patrimonio para generar VPN bajo diferentes secuencias de volteo catastrófico por viento. Se generó una muestra preliminar de 100 observaciones con la cual se estimó el número de observaciones requeridas para representar adecuadamente el fenómeno (alrededor de 550). Sin embargo, este número fue aumentado al doble para obtener una distribución de frecuencias más precisa. El simulador fue corrido 1.100 veces y como resultado de ello se estimó un VPN promedio de NZ\$ 38,278 millones en comparación con NZ\$ 43,208 millones bajo condiciones determinísticas. Esto significó una reducción promedio del VPN después de impuestos de un 11 %.

La desviación standard y el intervalo de confianza para la media (95% de confianza) fue estimado aún cuando la distribución no fue simétrica alrededor de la media. La variación promedio del VPN después de impuestos en la forma de una desviación standard fue de NZ\$ 4,236 millones. El intervalo de confianza para la media estuvo entre NZ\$ 38,027 millones y NZ\$ 38,528 millones. El valor mínimo encontrado fue de NZ\$ 24,152 millones y el máximo fue de NZ\$ 43,301 millones.

Distribución de frecuencias del VPN la distribución de frecuencias del VPN demostró ser útil para apoyar decisiones porque provee una cuantificación explícita del riesgo. Antes, los tomadores de decisiones, independiente de su posición frente al riesgo, tomaban decisiones basados en escasos conocimientos de los riesgos involucrados, como también de los impactos de estas decisiones sobre la gestión del patrimonio



forestal. Ahora, los tomadores de decisiones son capaces de predecir no solamente el valor esperado, sino que también las posibilidades de obtener un valor mucho más alto o mucho más bajo.

La figura 4 muestra la distribución de frecuencias relativas asociadas con 1.100 VPNs, considerando clases de \$ 2 millones. La tendencia global de la distribución es decreciente en frecuencia relativa (probabilidad) desde la derecha a la izquierda, lo que significa que hay mejor posibilidades de obtener altos VPNs que

Los menores VPNs se relacionan a un gran número de volteos por viento a lo largo del horizonte de planificación, donde el primero ocurre usualmente en el primer período (0 a 5 años). Progresivamente, se encuentran VPNs más altos con un número menor de volteos por viento y/o ocurriendo más tarde a lo largo del horizonte de planificación, hasta alcanzar un punto donde no existen volteos por viento. En este último caso, el VPN estocástico iguala el VPN determinístico.

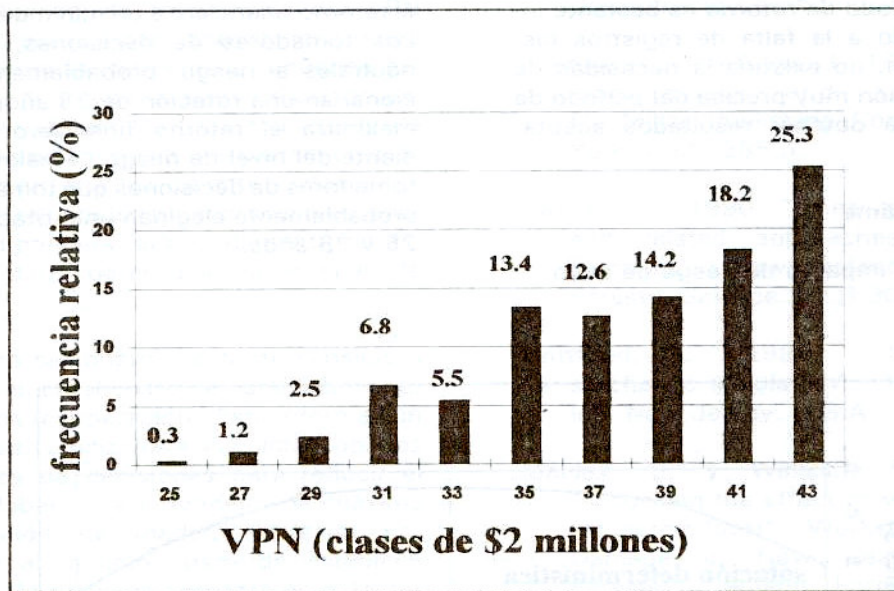


FIGURA 4. Distribución de frecuencias del VPN bajo riesgo de volteo por viento.

### Análisis de sensibilidad

La incertidumbre asociada a ciertos parámetros tales como costos de establecimiento, factor de recuperación de madera volteada por viento y precios de la madera recuperada, fue analizada a través de un análisis de sensibilidad. El sistema se mostró bastante sensible a un incremento en los costos de establecimiento. De hecho, el VPN fue reducido en promedio en un 0,22% por cada 1 % de aumento en el costo de

establecimiento. Similarmente, el VPN fue reducido en promedio en un 0,50% por cada 1% de disminución en el factor de recuperación de madera volteada por viento. Los precios de la madera recuperada también afectaron significativamente el VPN. De hecho, el VPN fue reducido en promedio en un 0,4% por cada 1% de disminución en los precios de la madera volteada por el viento.

La sensibilidad de la solución, fue también

analizada en relación al período de retorno. Se realizó un ensayo considerando un período de retorno 5 años más largo y 5 años más corto que 28 años. El promedio del VPN para 23, 28 y 33 años fue prácticamente el mismo. De hecho, la variación del VPN entre 23 y 28 años fue de -1,8%; mientras que entre 28 y 33 años fue de + 1,7%. El rango en el cual el VPN osciló considerando períodos de retorno de 23, 28 y 33 años también fue similar. Esta información sugiere que la solución no es muy sensible a pequeñas variaciones en el período de retorno. Este antecedente es importante porque usualmente la estimación del período de retorno es bastante incierta debido a la falta de registros históricos. Así, no existiría la necesidad de una estimación muy precisa del período de retorno para obtener resultados aceptables.

### Rotación óptima

Se evaluó el impacto de riesgo de daño

catastrófico por viento sobre la edad óptima de rotación. El análisis se basó en un simulador de patrimonio de regulación por área. Bajo condiciones determinísticas la rotación óptima se encontró a lo 28 años. Bajo condiciones estocásticas, la rotación óptima se encontró a los 25 años. Así, como podría ser esperado, la presencia de riesgo redujo la edad de rotación en tres años. Esto puede ser apreciado en la figura 5.

Los tomadores de decisiones que son adversos al riesgo, probablemente elegirían una rotación de 25 años, porque maximiza el retorno financiero a un mínimo de riesgo. Los tomadores de decisiones, que son neutrales al riesgo, probablemente seleccionarían una rotación de 28 años, porque maximiza el retorno financiero independiente del nivel de riesgo. Finalmente, los tomadores de decisiones que toman riesgo probablemente elegirían una rotación entre 25 y 28 años..

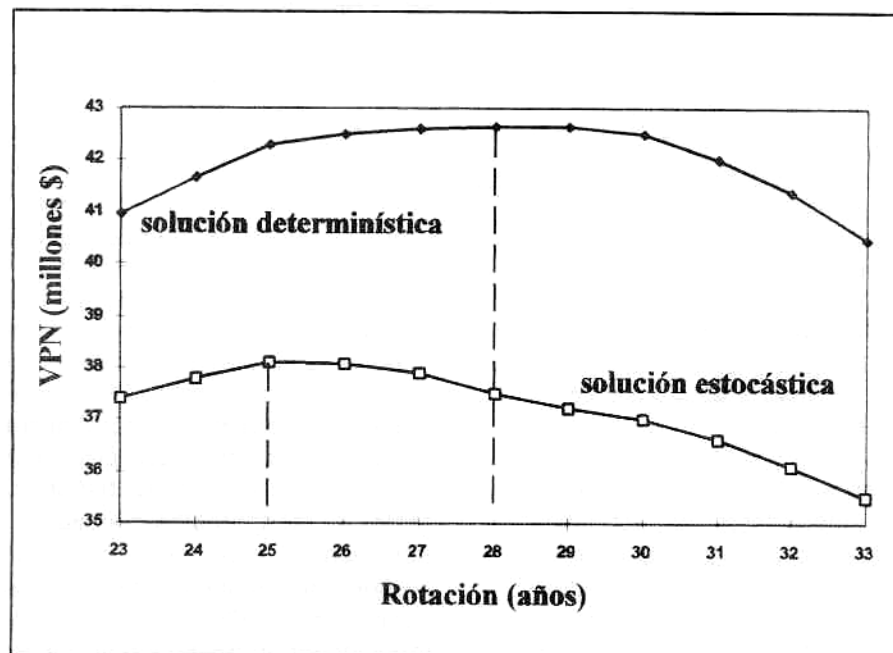


FIGURA 5. VPN en función de la edad de rotación.

## DISCUSIÓN FINAL

El volteo por viento, trae consigo pérdidas financieras debido a la reducida tasa de cosecha en los períodos sucesivos a la ocurrencia del fenómeno; al menor rendimiento obtenido durante la recuperación del material volteado, al mayor costo total de establecimiento (una gran área debe ser replantada después del volteo por viento) y al hecho de que los árboles son cosechados antes de que alcancen la rotación óptima. Se encontraron pérdidas promedio del 11% sobre el VPN.

La distribución de frecuencias del VPN demostró ser útil para apoyar decisiones, porque acota las pérdidas que pueden ser esperadas y provee una cuantificación explícita del riesgo. Así, los tomadores de decisiones tienen ahora una herramienta de planificación que les permite conocer los riesgos involucrados en el proceso productivo y así ponderar adecuadamente las decisiones para lograr una mejor nivel de gestión.

El sistema se mostró bastante sensible a variaciones en el costo de establecimiento y factor de recuperación. Esta información debiera ser analizada a cabalidad por los tomadores de decisiones para reducir el riesgo global, y así, tender a la máxima recuperación de madera volteada por viento y al mínimo costo de establecimiento. Un pequeño aumento en el factor de recuperación podría reducir significativamente el riesgo global. Esto podría ser hecho encontrando y aprovechando usos apropiados para los árboles quebrados, (astillas, postes, trozas pulpables, pequeñas trozas aserrables, etc). En una forma similar, la implementación de nuevas técnicas de establecimiento, con el propósito de reducir costos, asistidos por un mayor aprovechamiento (menos desecho en el suelo) podría bajar significativa mente el riesgo global.

El sistema no se mostró muy sensible en la relación al período de retorno. Esto favorece a los tomadores de decisiones porque indica que no se requiere de una

estimación muy precisa del período de retorno para obtener resultados aceptables.

Como podría esperarse, el riesgo de ocurrencia de un evento catastrófico tiende a acortar la rotación de un cultivo forestal. En el caso particular del estudio, la rotación fue reducida en tres años.

## LITERATURA CITADA

- Bown, H. 1996. "Windthrow economics at the forest level in the Canterbury Region". Tesis Magister en Ciencias Forestales. School of Forestry. University of Canterbury. 131 p.
- Buongiorno, J. y Gilles, J. 1987. "Forest management and economics". MacMillan Publishing Company, New York, USA. 285 p.
- García, O. 1990. "Linear programming and related approaches in forest planning". New Zealand Journal of Forestry Science 20(31):307-329.
- Gottfried, B. 1984. "Elements of stochastic simulation". Prentice-Hall, Inc. New Jersey, U.S.A. 300 p.
- Manley, B. y Wakelin, S. 1989. "Modelling the effect of windthrow at the estate level". Workshop on Wind Damage in New Zealand Exotic Forests. Boletín Forest Research Institute N° 146:66-72.
- Miller, K. y Quine, C. 1991. "Forestry practice: wind". Forestry Commission Handbook N° 6. Editado por B.G. Hibberd. U.K. pp. 139-146.
- Reed, W. y Errico, D. 1986. "Optimal harvest scheduling at the forest level in the presence of the risk of fire". Can. J. For. Res. 16:266-278.
- Somerville, A. 1989. "Introductory remarks". Workshop on "Wind damage in New Zealand exotic forests". Boletín Forest Research Institute N° 146. 76 p.

Somerville, A. 1995. "Managing climatic risk".  
Forestry Handbook. New Zealand  
Institute of Forestry. Tercera edición.  
Editor Don Hammond. pp. 49-54.

Studholme, W. (sin fecha). "Wind –A New  
Zealand experience and the  
management strategy adopted". Selwyn  
Plantation Board. Informe Interno. 10 p.

Wendelken, W. 1966. "Eyrewell forest: search  
for stable management". New Zealand  
Journal of Forestry N° 11 :43-65.