

INCO: PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE ÍNDICES DE COMPETENCIA DE ESPECIES FORESTALES

Javier Vázquez. Universidad de Huelva. E-mail: jpique@uhu.es

INTRODUCCIÓN

Puede definirse competición como el efecto negativo que un organismo ejerce sobre otro debido al consumo, o al control que ejerce sobre el acceso, de un determinado recurso de disponibilidad limitada. (KEDDY, 1989). El efecto de la competición puede llevar hacia una reducción en la supervivencia, crecimiento o reproducción del individuo afectado (BEGON *et al.*, 1986), siendo una de las fuerzas fundamentales en la evolución y funcionamiento de los ecosistemas (KEDDY, 1989). Dentro del ámbito forestal, el efecto que ejerce la competición sobre el crecimiento de los individuos ha sido analizado en las últimas décadas con objeto de conseguir ecuaciones de predicción del crecimiento lo más rigurosas y precisas posibles (TOMÉ & BURKHART, 1989). En estas ecuaciones, el efecto de la competición sobre el crecimiento se expresa a través del valor que toma un determinado índice, denominado índice de competencia, cuya naturaleza va a definir el modelo de crecimiento obtenido, según la clásica división de MUNRO (1974):

- Modelos de crecimiento independientes de la distancia. En estos modelos los efectos de la competición son introducidos a través de funciones simples de las variables de parcela o de dimensiones de los individuos y no requieren la obtención de las coordenadas de los árboles.
- Modelos de crecimiento dependientes de la distancia. En este caso el efecto competitivo se expresa a través de funciones matemáticas que tienen en consideración las dimensiones y localización de una serie de individuos circundantes que son seleccionados como competidores teniendo en cuenta una determinada regla empírica. En el caso de que la regla de selección de competidores deseche como tales aquellos pies de menores dimensiones el proceso de competencia se denomina unilateral mientras que si son seleccionables todos los pies circundantes la competencia es bilateral.

Aparentemente se podría esperar una cierta mejora en aquellos modelos que incorporan índices dependientes de la distancia frente a aquellos de mayor simplicidad basados únicamente en valores medios por parcela y/o funciones simples de dimensiones de los individuos. Sin embargo, la mayoría de las comparaciones realizadas entre modelos dependientes e independientes de la distancia no reflejan las diferencias esperadas (ALEMDAG, 1978; NOONE & BELL, 1980; MARTIN & EK, 1984; DANIELS *et al.*, 1986) debido fundamentalmente a que los procesos que controlan la competencia entre individuos no son bien conocidos actualmente, dificultando el desarrollo de índices con base biológica (SOARES & TOMÉ, 1999). Este hecho indica una clara posibilidad de mejora futura en este tipo de índices a medida que se avance en el conocimiento de los procesos biológicos implicados en los mecanismos de competición.

El conocimiento del efecto de la competencia por los recursos del medio sobre el crecimiento y producción de las especies forestales, expresada a través de los índices de competencia, es un hecho de gran importancia para una correcta gestión del medio forestal y debe ser tenida en cuenta para aspectos tan fundamentales como la densidad de plantación, rotación e intensidad de las claras o el valor de la densidad óptima para cada edad.

La elección de aquellos índices que mejor reflejen las variaciones de crecimiento de la especie necesita la existencia de herramientas que posibiliten el cálculo de los distintos índices de forma simultánea, bajo distintas hipótesis de selección de competidores y con distintos valores de los coeficientes que intervienen su formulación. Asimismo es deseable que admita ficheros de distinto orden y origen y que genere salidas gráficas y archivos en

distintos formatos para facilitar su tratamiento estadístico. El programa que se presenta, INCO, pretende cumplir estos objetivos.

DATOS DE ENTRADA DEL PROGRAMA

Las columnas que puede contener el fichero de datos inicio, en cualquier orden, son las siguientes:

- Identificación de árbol.
- Dimensiones por árbol (diámetro -d- o circunferencia a 1,30-CAP-).
- Código de árbol (opcional) si se desea identificar distintas especies o árboles con determinadas características.
- Coordenada X
- Coordenada Y
- Dimensiones de copa (opcional) si se desea calcular la Fracción de cabida cubierta (Fcc) o el índice de superposición de copas (ISC). Admite la especificación de 4 radios de copa (Norte, Sur, Este, Oeste), 2 diámetros perpendiculares (Norte, Sur) o el radio medio de copa.

Tras la apertura del archivo se deben indicar en el menú opciones las siguientes características:

- Variable de dimensión de árbol (diámetro o CAP)
- Unidad de d o CAP (cm, dm, m)
- Datos de dimensiones de copa (4 radios, 2 diámetros o radio medio)
- Unidades de dimensiones de copa (cm, dm, m)
- Forma de copa (círculo, elipse)
- Si existe columna de código de árbol
- Forma de la parcela (Circular, Rectangular, Irregular definida por el polígono de mayor superficie cuyos vértices son los árboles del archivo)
- Si se desea dibujar en las salidas gráficas el límite de la parcela
- Índices de competencia que se desea calcular y sus especificaciones (se explican en el próximo apartado).

A continuación, el menú Selección permite indicar, de forma dirigida e interactiva, la correspondencia entre las columnas del archivo de entrada y la información requerida por el sistema para la realización de los cálculos.

Índices de competencia independientes de la distancia calculados

Dentro de este grupo de índices de competencia el programa calcula los siguientes:

- Número de pies por ha.
- Área basimétrica por ha (m^2/ha)
- Área basimétrica por ha de los pies de mayor dimensión que el considerado (m^2/ha).
- Razón del diámetro del árbol con relación al:
 - diámetro medio (d_i/d_{med})
 - diámetro máximo ($d_i/d_{máx}$)
 - diámetro dominante (d_i/d_{dom}) según el criterio de Assman.
- Razón de la sección normal del árbol con relación a la:
 - sección normal media (b_i/b_{med})
 - sección normal máxima ($b_i/b_{máx}$)
 - sección normal dominante (b_i/b_{dom}) según Assman.
- Modificaciones del espacio de crecimiento de Assman. Assman definió el espacio de crecimiento como la superficie de la parcela (S) dividida entre el número de pies (N). WEIHE (1975), cit. en CARVALHO (1980) modificó el espacio de crecimiento para cada árbol i de la parcela considerándolo proporcional al tamaño del propio árbol.

Considerando el diámetro como variable representativa del tamaño del árbol propuso la expresión:

$$ECD_i = \frac{S}{N} \left(\frac{d_i}{d_m} \right) = \left(\frac{10000}{Nha} \right) \left(\frac{d_i}{d_m} \right)$$

con d_i , diámetro normal del árbol i ; d_m , diámetro normal medio de la parcela; N , número de pies en la parcela y Nha , número de pies por ha. Si se considera la sección normal en lugar del diámetro la expresión, utilizada igualmente por WEIHE (1978), cit. en CARVALHO (1980), es:

$$ECB_i = \left(\frac{10000}{Nha} \right) \left(\frac{b_i}{b_m} \right)$$

con b_i , sección normal del árbol i ; b_m , sección normal media de la parcela.

Indices de competencia dependientes de la distancia calculados

Los índices calculados por el programa son los siguientes:

- **Índice de Superposición de Copas (ISP)**

Se basa en el cálculo de la superficie de proyección horizontal de copa del árbol i (SC_i) y de la superficie de copa que interseca con las copas de otros individuos j de la parcela ($SCInt_{ij}$) en proyección horizontal. El índice tiene como expresión:

$$ISC_i = \frac{1}{SC_i} \sum_{j=1}^n SCInt_{ij}$$

La formulación de este índice es similar a la propuesta por CARVALHO (1980). Sin embargo, en esta nueva expresión el valor del índice puede ser superior a la unidad en casos de elevada competición en las que existan superficies de intersección de más de dos copas. El cálculo se realiza con copas elípticas o circulares dependiendo de la elección realizada en el menú de opciones.

- **Índice de Superposición de Áreas de Influencia (AOI)**

La expresión generalizada de este índice es la siguiente (TOMÉ & BURKHART, 1989):

$$AO_{mski} = \frac{1}{AI_{mi}} \sum_{j=1}^n \left(\frac{ao_{mij}}{AI_{mi}} \right) (R_{sij})^k$$

donde AI_{mi} es el área de influencia del árbol i con relación a una cierta definición m de radio de influencia; ao_{mij} es el área de superposición entre el árbol i y el competidor j utilizando una cierta definición m de radio de influencia; R_{sij} es la razón entre una determinada dimensión s del competidor j y el árbol objeto i ; k es el exponente de la razón de dimensiones.

Esta expresión general incluye como casos particulares la formulación de GERRARD (1967) y OPIE (1968) cuando $k=0$, la de ARNEY (1972) cuando $k=0$ y se realiza una traslación y cambio de escala, y la de BELLA (1971) cuando la dimensión elegida en la razón R_{sij} es el diámetro. Asimismo este tipo de expresiones vinieron a sustituir a aquellas más simples en las que la competencia se evaluaba no por medidas superficiales sino por medidas lineales (STAEBLER, 1951 en OTTORINI, 1978) o angulares (NEWNHAM, 1964).

La definición de radio de influencia se establece normalmente como el radio de copa suponiendo que el árbol ha tenido un crecimiento libre sin la presencia de competidores. En el caso de que se conozca la relación entre el radio de copa libre y el diámetro normal para una especie y calidad de estación determinada (ver, por ejemplo, HASENAUER, 1997) la expresión normalmente puede generalizarse mediante: $R_m = a + b(DBH)^c + d(DBH)^e$, con R_m , radio de influencia (en m); DBH , diámetro normal (en cm); a , b , c , d , e , coeficientes variables según especie y calidad de estación.

En el caso de que se desconozca esta relación normalmente se suelen experimentar distintas funciones del diámetro, que normalmente se pueden englobar en la ecuación genérica anterior, eligiendo aquella que mejor explique la variabilidad del crecimiento o producción. En la presente versión del programa se utiliza el diámetro como dimensión s dentro de la razón de dimensiones (por lo que el índice coincide con el de BELLA) permitiéndose el cálculo simultáneo de múltiples funciones de radios de influencia y múltiples valores de k (fijando el valor mínimo de k , el máximo y el intervalo del salto). Asimismo permite el cálculo, según elección del usuario, de las versiones unilateral y bilateral del índice.

- **Índice de Distancias Ponderadas por Dimensiones (DR)**

La expresión general de este índice se puede expresar por:

$$DR_{ksli} = \sum_{j=1}^n (R_{sji})^k f(D_{ij})$$

con R_{sji} , razón de una cierta dimensión s entre el árbol competidor j y el árbol objeto i , en esta versión el diámetro normal; k , exponente de R_{sji} ; $f(D_{ij})$, función decreciente de la distancia.

Para la selección de los árboles j que compiten con el árbol objeto i se dispone de varias alternativas:

- Selección según un determinado Factor de Area Basimétrica (BAF). El programa permite, en este caso, fijar uno o múltiples valores de BAF en m^2/ha para la selección de competidores.
- Selección de un número fijo de competidores n . Se eligen como competidores los n árboles más próximos al árbol i .
- Selección de un radio fijo de competición r . Se seleccionan como competidores aquellos pies que se encuentren a una distancia menor de r metros.
- Radio de selección de competidores función del diámetro normal. El programa permite la utilización de la función de Richards ($R_m = A(1 - e^{-kDBH})^{1/(1-m)}$, con A , asíntota y k y m parámetros variables) o funciones de tipo hiperbólico ($R_m = A - k(1/(a + bDBH^c + dDBH^e))$), con A asíntota y k , a , b , c , d y e parámetros variables) para la fijación del radio de competición. Es posible el cálculo simultáneo de múltiples funciones con distintos valores de los parámetros.

La función de la distancia utilizada, que debe ser decreciente, se puede seleccionar entre la exponencial negativa ($f(D_{ij}) = e^{-(a+bD_{ij}^c+dD_{ij}^e)}$, con a , b , c , d y e parámetros variables) y funciones de tipo hiperbólico ($f(D_{ij}) = 1/(a + bD_{ij}^c + dD_{ij}^e)$, con a , b , c , d y e parámetros variables). Igualmente se permite el cálculo simultáneo de distintas funciones con distintos parámetros y la elección entre las variantes unilateral y bilateral.

La particularización de este caso general permite obtener índices utilizados por algunos autores. Así, la ecuación general particularizada para $R_{sij}=d_j/d_i$ y $k=1$, con selección de competidores mediante radio fijo y función de distancias de tipo hiperbólico, particularizada para $a=0$, $b=1$, $c=1$ y $d=0$ permite obtener el índice de HEGYI (1974).

- **Índice de Densidad Puntual (PD)**

La expresión de este índice, debido a SPURR (1962), varía según se incluya (PD_{k1}) o se excluya (PD_{k2}) al árbol objeto i :

$$PD_{k1} = \frac{2500}{n} \left[\sum_{j=1}^n \left(j + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{d_j}{D_{ij}} \right)^2 \right] \quad PD_{k2} = \frac{2500}{n} \left[\sum_{j=1}^n \left(j - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{d_j}{D_{ij}} \right)^2 \right]$$

siendo D_{ij} la distancia entre el árbol i y el competidor j ; d_j es el diámetro del competidor j y n el número de competidores. La selección de los competidores permite las variantes expresadas en el índice anterior con las siguientes consideraciones: 1) en la selección de un número fijo

de pies competidores la selección se realiza según los valores de d_j/D_{ij} y no por proximidad al árbol i . 2) la selección de competidores por radio fijo o función del tamaño del árbol i suponen tergiversar la filosofía de obtención del índice por lo que no se recomienda su utilización. En este caso, la selección de competidores según BAF es la más correcta. Al igual que en casos anteriores se dispone de las variantes unilateral y bilateral.

- **Índice del Área Potencialmente Disponible (APA)**

El cálculo de este índice, en su versión no ponderada, se basa en el cálculo del área del polígono de menor superficie que tiene como vértices los puntos de intersección de la mediatrices de los segmentos que unen el árbol objeto i con sus posibles competidores j . Este polígono es denominado de distinta forma según los autores: mosaico de Voronoi (NANCE *et al.*, 1988), mosaico de Dirichlet (PARDÉ & BOUCHON, 1994) o polígonos de Thyessen. En su versión ponderada, los lados del polígono no son mediatrices sino que cortan perpendicularmente a los segmentos que unen el árbol i con los árboles j en un punto que depende del peso de cada árbol. En el programa se ha seguido la ponderación de JENSEN (1976), en el que la distancia entre el árbol central i y el punto de corte en el segmento que une el árbol i y j viene dado por la expresión:

$$w_k = \frac{d_i^k}{d_i^k + d_j^k}$$

siendo d_i y d_j los diámetros de los árboles i y j y k un exponente de ponderación. Para $k=0$ se obtiene el índice original sin ponderar debido a BROWN (1965).

RESULTADOS

El programa, tras el cálculo de los índices solicitados por el usuario, permite el vuelco de los mismos a un fichero de texto separado por tabuladores. También se tiene la posibilidad de calcular el valor de las principales variables por parcela (Área, número de pies/ha y área basimétrica desglosada por códigos de árbol, área de copas, superficie total de intersección de copas, Fcc) así como obtener un mapa de la parcela con la posibilidad de distinguir los árboles según su código de árbol.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEMDAG, I.S.; (1978). *Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted white spruce*. Can. For. Serv., For. Man. Inst., Inf. Rep. FMR-X-108.
- ARNEY, J.D.; (1972). *Computer simulation of Douglas-fir tree and stand growth*. Ph. D. thesis, Oregon State University. Corvallis.
- BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R.; (1986). *Ecology*. 2nd. Edition. Blackwell Science, Oxford.
- BELLA, I.E.; (1971). *A new competition model for individual trees*. For. Sci. 17: 364-372.
- BROWN, G.S.; (1965). *Point density in stems per acre*. New Zealand For. Res. Note No. 38
- CARVALHO, A.M.; (1980). *Índices de concorrência na elaboração de modelos de produção florestal*. Anais do Instituto Superior de Agronomia. Vol. XXXIX. p. 208-251.
- DANIELS, R.F.; BURKHART, H.E.; CLASON, T.R.; (1986). *A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees*. Can. J. For. Res. 16:1230-1237.
- GERRARD, D.J.; (1967). *Competition quotient: an index of the competitive stress affecting individual forest trees*. Ph. D. Thesis. Michigan State University.
- HASENAUER, H.; (1997). *Dimensional relationships of open-grown trees in Austria*. Forest Ecology and Management 96:197-206.
- HEGYI, F.; (1974). *A simulation model for managing jack-pine stands*. in J. Fries (ed.): Growth models for tree and stand simulation. Royal Coll. For., Res. Notes 30, p. 74-90. Stockholm.
- JENSEN, A.M.; (1976). *Growing space measurements: a complement in thinning experiments*. In: Aspects of thinning. For. Comm. Bul. No. 55, p. 72-80.
- KEDDY, P.A.; (1989). *Population and community biology. Competition*. Chapman and Hall. London.
- MARTIN, G.L.; EK, A.R.; (1984). *A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth*. For. Sci. 30: 731-733.

- MUNRO, D.D.; (1974). *Forest growth models –a prognosis*. in J. Fries (ed.): Growth models for tree and stand simulation. Royal Coll. For., Res. Notes 30, p. 7-21. Stockholm.
- NANCE, W.L.; GRISSOM, J.E.; SMITH, W.R.; (1988). *A new competition index based on weighted and constrained area potentially available*. In: IUFRO Forest Growth Modelling and Prediction Conference, Minneapolis.
- NEWNHAM, R.; (1964). *The development of a stand model for Douglas-fir*. Ph. D. Thesis. University of British Columbia.
- NOONE, C.S.; BELL, J.F.; (1980). *An evaluation of eight intertree competition indices*. Res. Note, Oregon State Univ., For. Res. Lab., No. 66.
- OPIE, J.E.; (1968). *Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area*. For. Sci. 14: 314-323.
- OTTORINI, J.M.; (1978). *Aspects de la notion de densite et croissance des arbres en peuplement*. Ann. Sci. For. 35: 299-320.
- PARDÉ, J.; BOUCHON, J.; (1994). *Dasometria*. Ed. Paraninfo. Madrid.
- SOARES, P.; TOMÉ, M.; (1999). *Distance-dependent competition measures for eucalyptus plantations in Portugal*. Ann. For. Sci. 56: 307-319.
- SPURR, S.H.; (1962). *A measure of point density*. For. Sci. 14:314-323.
- TOMÉ, M; BURKHART, H.E.; (1989). *Distance dependent competition measures for predicting growth of individual trees*. For. Sci. 35: 816-831.