



## Principios teóricos de la toma de decisiones de manejo de plagas (\*)

Autor: Dr. Eduardo Trumper

### INTRODUCCIÓN

El presente artículo se elaboró con carácter de presentación de la serie Boletín Técnico Modelos bioeconómicos para la toma de decisiones de insectos plaga, el que se inaugura como medio de transmitir en lenguaje técnico, versiones sintéticas de los resultados obtenidos en diferentes etapas del proyecto marco de la Sección Entomología de la EEA del INTA Manfredi, titulado con igual nombre que dicha serie.

Este proyecto, pensado como un programa de investigación y desarrollo de largo aliento, nació oficialmente con el apoyo de subsidios otorgados por organismos estatales de Ciencia y Tecnología, entre los cuales es de mayor envergadura ha sido el proyecto PICT 08-04906 de la línea de proyectos del FONCyT. En esta oportunidad, se presentan los principios básicos que sustentan el proyecto.

### MODELOS DE DECISIÓN

Los modelos de decisión representan criterios para tomar decisiones sobre las tácticas más apropiadas para manejar una plaga. Los modelos de decisión pueden apoyarse en modelos de dinámica poblacional o modelos epidemiológicos, pero incorporan otros componentes, entre los cuales los más frecuentes son variables económicas, como costo, beneficio, etc. Los modelos de decisión se construyen para identificar las tácticas de manejo que ofrecen mejores perspectivas para cumplir con los objetivos del agricultor.

En el contexto específico de la toma de decisiones de manejo de plagas, se identifican tres grandes "escuelas": a) Modelo de Nivel de Daño Económico (Pedigo et al. 1986), b) Teoría de análisis marginal (Mumford & Norton, 1984) y c) Teoría de decisión (Hardaker et al. 1997). Los dos primeros son eminentemente determinísticos, La teoría de decisión se basa en reglas en las que las variables de decisión adoptan estructura discreta, generalmente probabilística.

Es importante destacar que todos los enfoques comparten como aspecto básico la necesidad de conocer el sistema agroecológico. En el marco del Manejo Integrado de Plagas (MIP), cualquier análisis económico necesariamente debe estar imbuido en una perspectiva ecológica, por cuanto el problema que representa el sistema plaga-cultivo es en primer lugar un problema biológico, con la superposición de restricciones económicas y ambientales.

### UN CLÁSICO ENTRE LOS MODELOS DE DECISIÓN: EL NDE

Desde su afianzamiento como paradigma, el MIP tuvo como columna vertebral un concepto cuya instrumentación provocó una disminución significativa del impacto perjudicial del uso de agroquímicos (Metcalf & Luckman, 1994). Ese concepto es el Nivel de Daño Económico (NDE), y representa el estado ante el cual los costos (de control) igualan los beneficios (pérdidas evitadas por aplicación del control). De acuerdo a su definición original, el NDE se expresa en términos de densidad de plaga.

Mumford & Norton (1984) y Pedigo et al (1986) propusieron un modelo de NDE que actualmente es uno de los más aceptados. El modelo se basa en el concepto económico de punto de indiferencia, que puede interpretarse como el nivel de una variable problema (en este caso, densidad de la plaga) para el cual los beneficios igualan los costos. Esta situación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$C = \delta \cdot D \cdot E \cdot P \text{ (Ec.1)}$$

donde C=costo de control (\$/ha),  $\delta$ =densidad de la plaga, P=precio de la producción

(\$/Tn) y D=daño provocado por un individuo plaga en términos de disminución de producción (Tn/ha individuo) y E representa la eficiencia de control (Proporción de reducción de la densidad de plaga). Cuando se cumple la igualdad anterior, se puede decir que la población plaga se encuentra en el umbral, ya que -para los valores vigentes de costo de control, eficiencia del insecticida y precio de la cosecha- tal densidad provocará un perjuicio económico cuya prevención iguala el costo de su control. En consecuencia, reordenando la Ec. 1 se puede obtener la ecuación del NDE:

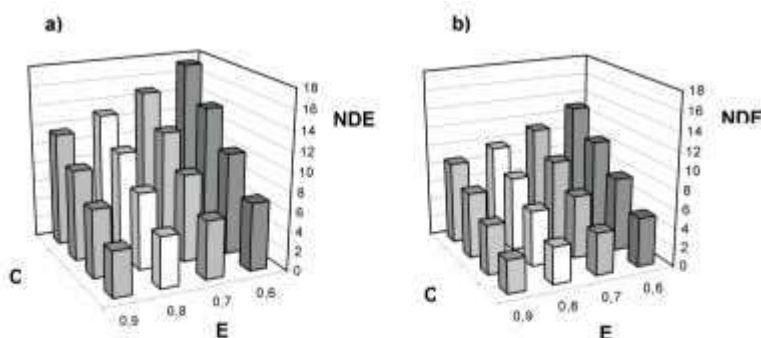
$$d = \frac{C}{D \cdot E \cdot P} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde d representa el NDE. Este modelo asume que la relación entre la densidad de plaga y la disminución del rendimiento es lineal. Esta relación densidad-rendimiento se denomina función de daño y por lo general es lineal sólo para un estrecho rango de valores de densidad de la plaga.

Una rápida lectura de la Ec. 2 pone de manifiesto la naturaleza variable del NDE. Sin embargo, la gran mayoría de los "umbrales económicos" o "Niveles de daño económicos" recomendados en Argentina son valores estáticos. En consecuencia, el agricultor no dispone de un criterio para decidir qué valor de NDE usará o cómo calcular el NDE correspondiente a diferentes plaguicidas o de acuerdo a distintos precios de la producción. De esta manera, las decisiones sobre control de plagas, se han efectuado tomando los valores publicados como constantes.

La función de daño es el principal componente del modelo de NDE y cuando se dispone de la ecuación explícita que la describe, los NDE pueden calcularse para cualquier combinación de precio de producción, costos de aplicación y eficiencia de control, mediante la Ec. 2. Cuando no se dispone de la función de daño, el NDE sólo puede adivinarse. Las funciones de daño, pueden ser válidas para un rango acotado de estados fenológicos del cultivo. Asimismo, pueden obtenerse bajo diferentes escenarios, por ejemplo alta y baja disponibilidad de agua (riego/secano), matizando una vez más el cálculo del NDE.

La **Fig. 1.a** presenta los NDE de un ejemplo hipotético, calculados para diferentes niveles de eficiencia y costos de aplicación del plaguicida, en base a un precio (P) de la producción de 120 \$/Tn y una función de daño representada por la ecuación  $Y=D \times d$ , donde  $D=0.05$  Tn/ha. Si el precio de la producción aumenta a  $P=150$  \$/Tn, los NDE se incrementan (Fig. 1.b).



**Figura 1.** Variación del nivel de daño económico (NDE) según el costo (C) y la eficiencia (E) del control. C varió entre 50 y 20 \$/ha.  $D=0.05$ Tn/ha. El precio de la cosecha es a)  $P=120$ \$/ha b)  $P=150$ \$/ha

Muy frecuentemente, la aplicación del modelo de NDE requiere de un parámetro adicional: el umbral económico (UE). Generalmente, el UE se fija arbitrariamente como un porcentaje del NDE, ya que se debe contemplar la demora inevitable entre la toma de decisión y la efectiva aplicación de la medida de control.

El concepto de UE reviste carácter predictivo porque se asume que durante el período

comprendido entre el último muestreo y el control, la densidad de la plaga llega al NDE. Cuanto mayor sea la expectativa de demora entre el muestreo y el control, mayor capacidad para predecir la evolución de la población plaga se necesita, y menor es el porcentaje que el UE representa con respecto al NDE.

## MODELO DE ANÁLISIS MARGINAL

Desde el punto de vista de los economistas, el manejo de plagas, entendido como otra actividad que implica decisión sobre los insumos de una empresa, se diseña en función de criterios distintos a los de los entomólogos.

Para comprender este enfoque es necesario considerar brevemente algunos conceptos de economía. Toda producción tiene una serie de restricciones, una de las cuales es la que impone la misma naturaleza: Sólo hay un conjunto de formas en las que se puede producir un determinado producto a partir de determinados insumos. La *función de producción* describe la máxima cantidad de producto que se puede obtener a partir de determinados niveles de insumos.

La velocidad de incremento de la función de producción,  $\Delta y/\Delta x$ , se denomina *producto marginal* y se define como la cantidad adicional de producto por unidad de insumo adicional. Una característica común a la mayoría de los procesos productivos es la *ley de producto marginal decreciente*, la cual enuncia que a medida que aumenta el nivel de un insumo dado, el producto marginal va disminuyendo.

Otro concepto a considerar es el de *líneas de "isobeneficio"*, que representan todas las combinaciones de insumos y productos que arrojan un mismo nivel de beneficio.

Si se asume que una empresa agrícola busca la maximización de los beneficios, la teoría económica demuestra que la solución es encontrar el nivel de insumos para el cual las dos funciones se igualan. En otras palabras, si el insumo es un insecticida, el incremento de la dosis ocasiona aumentos en la producción (ya sea en términos de eficiencia de control o, indirectamente, en aumento de rendimiento), pero en virtud de la ley de producto marginal decreciente, ese aumento es cada vez menor. El corolario es que habrá un nivel de insumos (insecticida) por encima del cual la adición de más insumo producirá una disminución del beneficio neto, debido a que el costo adicional de agregar más dosis excede las ganancias (Mumford & Norton, 1984).

En el caso de la *teoría de análisis marginal*, la pregunta que el economista se formula es "¿A qué nivel de insumo debería detenerse la adición de más insumo (insecticida)?", o bien "¿Qué nivel de control, es el más redituable a determinada densidad de la plaga?". Por otra parte, el entomólogo agrícola se pregunta "¿A qué densidad de plaga se igualan el costo del control y el ingreso por mayor rendimiento del cultivo?". El Entomólogo asume un nivel fijo de control, o puede decirse que define el control como una variable binomial de tipo "todo o nada" y considera la densidad de la plaga como una variable continua. El economista, en tanto, asume la presencia perjudicial de la plaga y considera el nivel de control (dosis de insecticida) como una variable continua (Mumford & Norton, 1984).

## TEORÍA DE DECISIÓN

La teoría de decisión contempla la variabilidad y la incertidumbre en la toma de decisiones (Rossing et al. 1994 a,b). La diversidad de resultados puede derivar de distintas fuentes. La relación entre densidad y rendimiento varía en función de diversos factores que afectan la capacidad de compensación de las plantas ante la herbivoría. Los mercados son fluctuantes y esto incide en los precios de los insumos pero también en el precio de los distintos productos agrícolas.

La teoría de decisión es particularmente aplicable en aquellos casos en que se deben

tomar decisiones sobre manejo de una plaga antes de su aparición. Existen diversas técnicas para la descripción y el análisis de los problemas de toma de decisiones, entre las cuales una de las más comunes es la matriz "pay-off". Éstas son tablas que especifican el valor esperado correspondiente a las distintas combinaciones posibles de opciones de decisión y "estados de la naturaleza" (por ejemplo nivel de ataque de una plaga). El resultado de cada opción de manejo dependerá de los niveles de ataque de una plaga, cada uno de los cuales tiene una probabilidad asignada.

La Tabla 1 representa una matriz "pay-off" para estrategias de control de una plaga hipotética, expresada en pérdidas por hectárea (\$/ha). La primera fila representa los resultados de no tomar ninguna decisión de manejo ante distintos niveles de ataque de la plaga. Esta información es equivalente a una función categórica o cualitativa. El resto de las celdas describe los resultados incluyendo el costo del control y la efectividad en la reducción de la densidad de la plaga y el daño.

Los resultados de cada opción de manejo pueden expresarse de variadas formas, pero lo más frecuente es calcular la ganancia neta ponderada, multiplicando la ganancia neta de cada combinación "táctica-nivel de ataque" por la probabilidad de cada resultado, es decir la probabilidad de cada nivel de ataque de la plaga (Norton & Mumford, 1993

Opciones de manejo	Nivel de infestación (probabilidad)			Pérdidas esperadas/ha
	Bajo (0.33)	Intermedio (0.44)	Alta (0.23)	
Sin control	40	264	560	254
Aplicaciones s/calendario	163	179	195	177
UE 5 larvas/24 plantas	29	63	78	54
UE 8 larvas/24 plantas	11	45	112	49

**Tabla 1.** Matriz "Pay-off", expresada como pérdidas en \$/ha para tácticas de manejo de una plaga hipotética. Entre paréntesis se indican los valores de probabilidad (Adaptado de Mumford & van Hamburg, 1985. Fuente: Norton & Mumford, 1993). UE: Umbral económico.

Comparando el UE (Umbral Económico) de 5 larvas/24 plantas con la táctica de aplicaciones sistemáticas según calendario, se observa que las pérdidas esperadas para cada perfil de ataque (bajo, intermedio o alto) son siempre menores cuando se usa el umbral.

Al contrastar los UE de 5 y 8 larvas, se identifica una expectativa económica promedio de la segunda táctica levemente más favorable que de la primera (49\$/ha versus 54\$/ha).

Sin embargo, ante un escenario de alta infestación, se espera que el UE de 8 larvas/24 plantas arroje pérdidas muy superiores a las que se espera arroje el UE de 5 larvas/24 plantas.

Queda claro que la decisión más adecuada dependerá de los objetivos del productor. Para un agricultor con actitud neutral hacia el riesgo económico, la mejor táctica sería el uso de un UE de 8 larvas/24 plantas, mientras que para un agricultor con una actitud de "aversión al riesgo", la táctica más apropiada puede ser la de un UE de 5 larvas /24 plantas.

## CONSIDERACIONES FINALES

La producción sustentable y eficiente de una determinada materia prima, es el resultado de una intrincada trama de decisiones: la selección de un cultivar, la fecha de siembra, la fertilización, la oportunidad de riego, y entre tantas otras, el manejo de plagas.

Los modelos constituyen una herramienta para sustentar decisiones en cada uno de estos aspectos, ya sea como compartimientos estancos o, idealmente, integrados en una estrategia de manejo del cultivo.

Las decisiones óptimas requieren el más alto nivel de información, pero no entendido como el conocimiento de los detalles más sutiles sino el conocimiento funcional, el conocimiento estratégico que habilita la capacidad de explicar y predecir el comportamiento de un sistema ante distintos escenarios.

En este sentido, la modelación representa el enfoque de trabajo más promisorio.

La agricultura se practica con herramientas cada vez más complejas. Un mayor uso de tecnología se considera una condición necesaria para incrementar la productividad.

En la actualidad, quizá más que nunca, es necesario considerar otro insumo de relevancia crucial: el conocimiento. El conocimiento es esencial para un correcto empleo de insumos y para la selección óptima de oportunidades. En este sentido, la propuesta del proyecto que aquí se presenta es que la modelación es un enfoque que ofrece la posibilidad de orientar la investigación científica y tecnológica por carriles que conduzcan a la disminución de la brecha entre conocimiento y manejo óptimo.

Los próximos boletines, ilustrarán aspectos puntuales de este proceso de investigación y desarrollo.

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente boletín se redactó en el marco del proyecto PICT 08-04906 de la ANPCyT y de un proyecto apoyado por la ACC.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Hardaker, J.B.; R.B.M. Huirne & J.R. Anderson (1997) *Coping With Risk in Agriculture*. CAB International, Wallingford.
- Metcalfe, R.L. & W.H. Luckman (Eds.) (1994) *Introduction to Insect Pest Management*. Wiley Interscience, New York.
- Mumford J.D. & G.A. Norton (1984) Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29:157-74.
- Mumford, J.D. & H. van Hamburg (1985) *A descriptive Analysis of Cotton Ppest Management in South Africa*. Plant Protection Research Institute, Pretoria.
- Norton, G.A. & J.D. Mumford (Eds.) (1993) *Decision Tools for Pest Management*. CAB International, Wallingford
- Pedigo, L.P.; S.H. Hutchins & L.G. Higley (1986) Economic injury levels in theory and practice. *Annual Review of Entomology*, 31:341-368.
- Rossing, W.A.H.; R.A. Daamen & M.J.W. Jansen (1994a) Uncertainty analysis applied to supervised control of aphids and brown rust in winter wheat. Part 1. Quantification of uncertainty in cost-benefit calculations. *Agricultural Systems*, 44:419-448.
- Rossing, W.A.H.; R.A. Daamen & M.J.W. Jansen (1994b) Uncertainty analysis applied to supervised control of aphids and brown rust in winter wheat. Part 2. Relative importance of different components of uncertainty. *Agricultural Systems*, 44:449-460.
- (\*) El presente artículo es una adaptación y síntesis de Trumper, E.V. (2001) Toma de decisiones en manejo de plagas en siembra directa. En: *Siembra Directa*, pp. 205-212 (Eds. Panigatti et al.). INTA.

