

ARTROPOB: Sistema de Simulación de Dinámica Poblacional y Manejo de Artrópodos Plaga

Edelstein^{1,2}, J.D.; Bartó³, C.A.; D.H.; Trumper^{1,4}, E.V.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Manfredi, Argentina.

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Cs. Exactas, Físicas y Naturales,

²Cátedra de Problemática Ambiental, ³Departamento de Computación, ⁴Cátedra de Ecología; Córdoba, Argentina.

Resumen

ARTROPOB es un sistema para la simulación de dinámica de poblaciones con múltiples cohortes y generaciones, de organismos con desarrollo dependiente de la temperatura. Con el objetivo de integrar información biológica y analizar dinámicas temporales, se desarrolló un sistema computarizado, en lenguaje de código abierto GNU Octave. ARTROPOB es un sistema de carácter genérico, con una estructura mecanística, que permite simular la dinámica temporal de especies con, con más de 3 estados inmaduros. Como variables rectoras se utiliza la temperatura diaria (media, máxima, mínima) y, para el caso de especies con dormancia invernal, el fotoperíodo. La dinámica poblacional puede vincularse con el estado fenológico del cultivo hospedante como variable ambiental. Para explorar la optimización de la aplicación de plaguicidas, el sistema consta de un módulo de simulación táctica. Como demostración del uso de ARTROPOB, se recurrió a información sobre el desarrollo termo-dependiente de Anticarsia gemmatalis y Diatraea saccharalis. La dormancia invernal, se implementó particularmente en D. saccharalis. Los valores simulados deben ser considerados como estimadores de abundancia a través del tiempo. ARTROPOB puede ser una herramienta complementaria para el diseño de estrategias de Manejo Integrado de Plagas ya que permite explorar escenarios ambientales y tecnológicos.

Palabras clave: modelo, desarrollo, organismos ectotermos

Abstract

ARTROPOB: Simulation system for population dynamics and arthropod pest control.

ARTROPOB is a simulation system for multiple-cohort and multiple-generation population dynamics of arthropods with temperature dependent development. With the objective of integrating biological information and analyzing temporal dynamics, a computerized system was developed in open code language GNU Octave. ARTROPOB is a generic system, with a mechanistic structure, based on partial differential equations which allow the simulation of the dynamics of holometabolous species, with more than 3 larval stages. As driving variables, temperatures (mean, maximum and minimum) and photoperiod, for the case of species with winter dormancy, were used. The population dynamics can be linked to the phenological stage of a host crop, as an environmental variable. To explore pesticide time optimization, the system has a tactical simulation module. To illustrate the capabilities of ARTROPOB, temperature-dependent development of Anticarsia gemmatalis and Diatraea saccharalis were taken as study cases. In the particular case of D. saccharalis winter dormancy was implemented as a photoperiod dependent process. ARTROPOB was developed as a tool for exploring management tactics within the Integrated Pest Management framework. It allows the exploration of hypothetical scenarios such as pest emergence and management of tactics.

Key Words: model, development, ectothermal organisms

Introducción

El tiempo fisiológico de los organismos ectotérmicos no avanza a una velocidad directamente proporcional al tiempo cronológico, sino que lo hace a diferentes velocidades dependiendo de la temperatura de su hábitat. Bajo este supuesto, si se conoce la velocidad de desarrollo de un organismo a una serie de temperaturas y la distribución de la probabilidad de ocurrencia del cambio de estado, entonces se pueden

calcular las tasas de cambio de sus poblaciones a lo largo del tiempo (Curry & Feldman, 1987).

La probabilidad de paso de un estado/estadio de desarrollo al siguiente puede estimarse a partir de la Ecuación Extendida de von Föerster descrita por Gilbert *et al.* (2003, 2004). Este método se basa en la acumulación de tasas de desarrollo dependientes de la temperatura o edad fisiológica a lo largo del tiempo cronológico y asume una distribución normal de las tasas en cada condición térmica.

De acuerdo a Gilbert *et al.* (2004) la densidad de individuos, p , a una edad fisiológica, a , con una tasa de desarrollo r correspondiente a la temperatura T y a un tiempo t , tiene asociada una varianza v , la que se representa por medio de una ecuación diferencial en derivadas parciales, la Ecuación Extendida de von Föerster (ec. 1), que expresa la tasa de egreso del estado/estadio:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + r(T(t)) \frac{\partial p}{\partial a} = v(T(t)) \frac{\partial^2 p}{\partial a^2} \quad \text{ec. 1}$$

Para un régimen de temperaturas, la distribución de los tiempos de emergencia, puede ser calculada según la ecuación 2:

$$G(t, \tau) = \frac{r(T(t))}{\sqrt{4 \times \pi v \times (t - \tau)^3}} \exp \left(- \frac{\left(1 - \int_{\tau}^t (r(T(x))) dx \right)^2}{4 \times v \times (t - \tau)} \right) \quad \text{ec. 2}$$

La ecuación 2 puede ser interpretada como la función de densidad de probabilidad (fdp) del desarrollo (Powell & Bentz, 2009).

Integrar un sistema que permita resumir información existente sobre el desarrollo termo-dependiente de los organismos implica entrar en un campo complejo que incluye relaciones lineales y no lineales, entre variables ambientales rectoras y sus respuestas fisiológicas. La integración de tal sistema de funciones en un modelo permite simular la dinámica temporal de las poblaciones. Para comprender los cambios de abundancia de las poblaciones naturales se requiere considerar la ocurrencia de múltiples cohortes que

ingresan a una población y a su vez la sucesión de generaciones, en condiciones ambientales de oscilaciones térmicas conocidas o diferentes a las habituales. La simulación de poblaciones permite ensayar tácticas de manejo, como la aplicación de pesticidas en un determinado momento de la dinámica intra-estacional de dicha población.

El objetivo principal del presente trabajo fue desarrollar una herramienta de gestión, flexible y genérica para la simulación de la dinámica fenológica de organismos ectotérmicos bajo escenarios ambientales y de manejo definidos por el usuario.

Materiales y Métodos

Se desarrolló un conjunto de algoritmos articulados de los cuales el principal es el que representa el ciclo fenológico de una población de organismos ectotérmicos en lenguaje GNU Octave al cual se le dio el nombre de ARTROPOB. El desarrollo de la población simulada se define con una estructura discreta de estados de huevo, una cantidad variable de estadios larvales (metabolía completa) o ninfales (metabolía incompleta), la pupa (metabolía completa) y el adulto (Fig. 1).

Estructura general del sistema

La estructura funcional de ARTROPOB consiste en una descripción de las condiciones ambientales a las que estará sometida la población, generadas por modelos o provistas por el usuario (Fig. 2). Estas condiciones incluyen la temperatura del aire, el estado fenológico del cultivo hospedante y la cantidad de horas de fotoperíodo.

Las cantidades iniciales de huevos, larvas o adultos son incorporadas al sistema por medio de una simulación de la distribución temporal o en archivos de texto (txt o dat). En el caso de ingreso de adultos, tal flujo de ingreso de individuos es convertido en una distribución de huevos por medio del modelo de reproducción.

El sistema se basa en una serie de funciones o modelos de desarrollo que utilizan parámetros (tasa de desarrollo, variabilidad, etc.) particulares para cada especie a simular.

Las especies a simular pueden estar previamente programadas, conformando una biblioteca de especies. De modo alternativo es posible ingresar las funciones y parámetros que representen la biología, por medio de un diálogo con el usuario.

El corazón básico de ARTROPOB reside en un programa inicialmente desarrollado en Matlab (James A. Powell, *Com. Pers.*). Dicho programa aplica la Ecuación Extendida de von Föerster. ARTROPOB incorpora otros métodos de acumulación térmica, como la acumulación de grados-día (Acum DG), de forma lineal y condicionada por temperaturas máximas y mínimas. Los módulos de ARTROPOB se ven complementados por modelos de simulación de dormancia invernal (Diapausa) y de estimación del momento óptimo de control de una población plaga por un plaguicida (Optimizador de Control).

El progreso de la edad fisiológica es calculado para cada cohorte de la población simulada, desde el inicio de la población, por medio de una matriz de cálculo de probabilidades de emergencia de cada cohorte según una distribución normal con una varianza dependiente de la temperatura.

Las poblaciones son simuladas en un entorno temporal definido por la fecha de inicio, la cantidad de días evaluados y el intervalo de división de los días. Dicha ventana de tiempo tiene una correspondencia tanto con las oscilaciones térmicas como con el fotoperíodo máximo teórico.

Ambiente físico

La información meteorológica es incorporada a ARTROPOB por el usuario, por medio de archivos de texto. El archivo de temperaturas provisto al sistema corresponde a las condiciones mínimas y máximas diarias de un año de 365 días. ARTROPOB puede simular series térmicas anuales sobre la base dos funciones coseno con parámetros definidos por el usuario de temperatura media anual y las amplitudes térmicas anual y diaria. De modo similar, los datos de fotoperíodos o heliofanía teórica astronómica pueden ser incorporados como un vector de datos observados o, alternativamente, ser generados internamente mediante el programa “Fotoperíodos” elaborado por Ing. Agr. Rafael O. Rodríguez - Instituto de Clima y Agua - CIRN - INTA Castelar.

Cultivo hospedante

Las poblaciones de cada especie pueden tener relación con la presencia y el desarrollo fenológico de un cultivo hospedante que actúa como variable ambiental que representa la disponibilidad de alimento. Asimismo, se pueden simular poblaciones de artrópodos, sin la existencia de cultivos, asumiendo la presencia de una cantidad necesaria de alimento para la población simulada. El sistema dispone de *scripts* específicos para la simulación de la fenología de cada cultivo. De modo alternativo, se pueden incorporar datos experimentales de la fenología, por medio de archivos de texto. Dichos datos consisten en la fecha de inicio del estado fenológico en el cultivo simulado y pueden ser calculadas u obtenidas por conocimiento experto. En tal caso, el archivo constará de una secuencia temporal de proporciones de disponibilidad de alimento. La fecha de siembra del cultivo puede ser previa al inicio de la población simulada. Los estados fenológicos definidos están preestablecidos.

Es posible utilizar varias fechas de siembra para un mismo cultivo. Los datos incorporados serán asociados por ARTROPOB a un vector de valores, que relativizan la posibilidad de presencia de una población de artrópodos sobre un cultivo. Las fechas provistas establecen un horizonte de disponibilidad de alimento con valores en el intervalo cerrado entre 0 y 1.

- **Soja**

La información de cultivos es incorporada por medio de un archivo de texto, con los valores de datos separados en columnas. Para el caso de la estimación del estado de desarrollo de soja existen simuladores que calculan la fecha de ocurrencia de los estados fenológicos, tal como SIFE.SOJA (http://www.inta.gov.ar/PARANA/info/otra_info/software/sifesoja.htm). En este caso particular, dado que sólo calcula la fecha de ingreso a los estados reproductivos, ARTROPOB simulará los estados de desarrollo vegetativos V4 y V6 sobre la base de una temperatura umbral de 6°C y una tasa de desarrollo de 55,5°C-días por cada hoja desde la emergencia (Kantolic *et al.*, 2003).

Ejemplo: Planilla de ingreso de datos de un cultivo de soja de variedad DM2800 a una latitud de -30°31' y fecha de ocurrencia estimada de sus estados fenológicos reproductivos de acuerdo a la salida del programa SIFESOJA.

Cultivar DM2800
Latitud -30.31
siembra 10 09 2010
R2 20 10 2010
R5 09 11 2010
R6 24 12 2010
R7 02 01 2010
R8 19 01 2010

En soja, las poblaciones de *Anticarsia gemmatalis* requieren de, al menos, un desarrollo de 4 hojas (V4) para el progreso de las subsiguientes cohortes hasta el estado reproductivo 7 (R7), donde las plantas pierden su follaje y, por lo tanto, no proporcionan alimento a las larvas ni sustrato de oviposición.

- **Maíz**

ARTROPOB simula el desarrollo completo de plantas de maíz por medio de acumulación de grados-día. A tal efecto, el usuario debe ingresar la fecha de siembra, a partir de la cual el sistema estima 180°C-días para el inicio de la emergencia y una suma desde ese momento fisiológico de 400, 700, 1300 y 2000°C-días para los estados de V1-V3, V4-V6, Flor, Madurez Fisiológica y Cosecha, respectivamente. Las condiciones térmicas limitantes para el desarrollo del maíz son de 8 y 40 °C, de temperatura mínima y máxima diaria, respectivamente. El momento de la cosecha puede ser también establecido por el usuario de modo arbitrario.

Para las poblaciones de *D. saccharalis*, se asume que el cultivo de maíz debe alcanzar el estado fisiológico mínima de V4-V6 para poder proporcionar un adecuado sustrato para la oviposición y alimento. Con posterioridad a la cosecha, nuevamente la población no dispone de sustrato para la oviposición y sólo la mitad de la población de larvas permanecen vivas con posibilidad de alimentación.

Ecuación Extendida de von Föerster

La implementación de la Ecuación Extendida de von Föerster es descrita en detalle por Gilbert et al (2003). ARTROPOB incluye algoritmos que invocan a las funciones de tasa de desarrollo termodependientes, incluyendo los modelos lineal, Briere I y II (Briere *et al*, 1999) y Logan (Hilbert & Logan, 1983). Las tasas de desarrollo correspondientes a cada estado del ciclo biológico, son dependientes de la temperatura instantánea y se integran por el método de acumulación trapezoidal (*cumtrapz*). El proceso implica el desarrollo sobre matrices de tiempo cronológico y fisiológico. Dicho proceso se implementó según la siguiente expresión en lenguaje Octave:

$$P_{t\tau} = (T > \tau) \cdot \exp(- (1 - (RT - R\tau)) \cdot \sqrt{4 \cdot \nu \cdot (|T - \tau| + \text{tol})}) / \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \nu \cdot (|T - \tau| \cdot \sqrt{3 + \text{tol}})})$$

donde RT es la acumulación de las tasas de desarrollo en relación al régimen térmico arriba mencionada y $R\tau$ es su matriz transpuesta, ν es una variable proporcional a la varianza de las tasas de desarrollo en cada temperatura.

Para estimar la tasa absoluta de ingreso de cada estado o estadio, las tasas de salida del estado previo son multiplicadas por un coeficiente de supervivencia, resultando en el ingreso a un nuevo proceso de acumulación térmica arriba descrito. Los valores de la variable de estado (abundancias) resultan de la integración con respecto al tiempo de las diferencias entre las tasas de ingreso y salida.

El paso a una siguiente generación requiere de información sobre los procesos de reproducción y longevidad de los adultos. La supervivencia de los adultos se representa por medio de tiempos discretos y una función de proporciones escalonadas en relación con la temperatura.

Estudios de casos

A los efectos de evaluar ARTROPOB se realizaron simulaciones tomando como casos de estudio a dos especies de insectos: *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). Para alimentar las simulaciones se recurrió a información sobre el desarrollo termo-dependiente proveniente de bibliografía específica (Johnson *et al.*, 1983; Moscardi *et al.*, 1981; King *et al.*, 1975;

Pereira de Melo, 1984 y Greco, 1995) e información inédita producida por los colaboradores del presente trabajo.

Diapausa

La simulación de la dormancia invernal, particularmente de *D. saccharalis*, se realizó recurriendo en primer término a una función que calcula la distribución temporal de la proporción de larvas que ingresan a dormancia en función de la temperatura media del periodo desde larva I a larva II y el fotoperíodo correspondiente a la población media de larvas II (Fig. 1). La inducción a dormancia divide el ciclo a partir de la densidad de población de larvas III (Pons y Trumper, 2006). Aunque el cálculo de inducción es permanente, en función del fotoperíodo es probable que la inducción sea nula, continuando el ciclo biológico de la población por medio de la Ecuación Extendida de von Föerster. Finalmente, un proceso estima el patrón de salida de la dormancia y la consecuente aparición de pupas en la primavera, en función del fotoperíodo y la acumulación de días-grado. (Pons *et al.*, 2008).

Salidas de resultados

Al inicio de la interfase con el usuario, el programa solicita un nombre de designación de la corrida de simulación. Dicho nombre, sin espacios en blanco, es aplicado como prefijo a los archivos que se generan como documentación de la simulación.

El horizonte temporal de las simulaciones se describe a partir del ingreso de la fecha inicial de la simulación, el intervalo total de tiempo, en días y el número de divisiones de dichos días. La fecha inicial del horizonte temporal de la simulación debe ser anterior o igual a la fecha del evento mas temprano, sea ésta la introducción del flujo de población de artrópodos o la de la primera siembra de cultivos.

El sistema presenta las tasas de cambio temporal y las variables de estado, que representan las abundancias de las poblaciones. Dicha información se expresa en modo gráfico y, son, una vez presentadas al usuario, almacenada en formato postscript (<http://sourceforge.net/projects/ghostscript/files/GPL%20Ghostscript/8.71/gs871w32.exe/download>) y en archivos de texto en formato numérico en archivos separados por columnas, en orden temporal sobre la base de días julianos.

Se puede solicitar la presentación de los gráficos de series de temperatura como de fotoperíodo, probabilidades de paso entre cada estado de desarrollo, estimados a partir de las ecuaciones extendidas de von Föerster. Las últimas figuras se presentan en 3D, como probabilidades no estandarizadas en función del tiempo cronológico en días y la edad fisiológica.

Control óptimo de la población

La aplicación de una táctica de control se puede aplicar sobre huevos y larvas. El usuario puede definir una fecha de aplicación de pesticida o estimar una aplicación óptima del momento de aplicación. Dicha estimación, se realiza por medio del análisis la densidad mínima de la población con pesticida en cada instante de tiempo, identificando el momento de mayor impacto. La eficiencia del pesticida, definida como la proporción de insectos eliminados, se simula mediante una ecuación exponencial negativa en la que los parámetros K y r representan la mortalidad inicial que provoca el insecticida y la tasa de disminución exponencial de la eficiencia, respectivamente. El sistema presenta gráficamente la fecha óptima estimada.

Resultados

Se analizó como ejemplo la dinámica poblacional de *A. gemmatalis*, en un caso hipotético de un ingreso de 100 adultos el 1 de febrero (día juliano 32), en un ambiente con 15°C de temperatura media anual, de amplitud térmica anual y de amplitud diaria.

El sistema simula la población de huevos y larvas chicas, 3 estadios de larvas, pupa y adulto (Fig. 3). Se estimó que la primera generación de larvas del 5° estadio llegaría al máximo de su población el día juliano 92 (2 de abril). Posteriormente, la población ingresa a pupa, con abundancias máximas el día 126. El máximo ingreso de nuevos adultos al sistema ocurre el día 121 (1 de mayo), aunque el ingreso es permanente durante un período aproximado de 210 días desde su inicio. Dicho ingreso permite que estos adultos permanezcan 244 días hasta la su desaparición total.

Las poblaciones de *D. saccharalis* se simularon con idénticas condiciones iniciales que en el caso de *A. gemmatalis*. Se calcularon las abundancias relativas de huevos, 6 estadios larvales, pupas y adultos (Fig. 4). La máxima acumulación de huevos se presenta 5 a 6 días después del arribo de los adultos que inician la población simulada.

Los 3 primeros estadios larvales transcurren normalmente su desarrollo. El 4^{to} estadio demora a partir del día 90 (31 de marzo), su paso a la siguiente edad por efecto de la temperatura. Las larvas de los estadios 5^{to} y 6^{to} son principalmente quienes pasan el invierno con escasos cambios de abundancia (no se evalúa mortalidad). Al llegar aproximadamente el día 263, se produce un incremento rápido del último estadio larval, para arribar a un máximo el día 281, a partir de cuando se transforman en pupas. Este último estado presenta su máxima acumulación el día 295 (fin de octubre). La máxima abundancia de adultos de primera generación del año siguiente se estima para el día 315 (mediados de noviembre).

La fecha óptima de control de dicha población de *D. saccharalis*, teniendo en cuenta una mortalidad inicial del 90% y una alta tasa de pérdida de toxicidad en el ambiente ($k=0,9$; $r=0,05$), el control óptimo de la población de larvas de la primera generación simulada para la próxima campaña de cultivo, se logra el mismo día de registro de máxima acumulación de adultos.

La representación de la fenología del cultivo permite ver el efecto de la disponibilidad de alimento sobre las poblaciones de artrópodos (Fig. 5). Al restringir el alimento, las poblaciones de larvas mueren. Aunque se intente simular una generación a continuación, la falta de sustrato para la oviposición impide su presencia. Por lo tanto la persistencia e incremento de la abundancia de las poblaciones dependen de la fecha de siembra, del desarrollo del cultivo hospedante y del momento de la cosecha.

Discusión

ARTROPOB permite estimar las abundancias de especies de interés agrícola, de sucesivas generaciones, en función del conocimiento de aspectos de su biología. El programa permite representar sincronizaciones existentes en poblaciones de artrópodos con dormancia invernal dependiente del fotoperíodo. Dicho proceso da lugar a una mayor supervivencia y coordinación del inicio del desarrollo de las cohortes.

Si bien la validación de los resultados está en proceso, los resultados representan de modo razonable las dinámicas temporales conocidas de las poblaciones en condiciones de campo (Fig. 6). A partir de los resultados obtenidos y de la interacción de las poblaciones de insectos con sus cultivos hospedantes se puede deducir que un manejo de los cultivos que implique siembras continuas de un mismo cultivo permite el

incremento ilimitado de las poblaciones de artrópodos. Las condiciones térmicas, aunque sin ser una limitante, hacen que los procesos como el desarrollo y la reproducción ocurran a menor velocidad.

ARTROPOB está actualmente pensado para uso experimental en las áreas de biología y agronomía. Las abundancias calculadas no representan reales densidades de baja escala en el campo, sino por medio de alguna relación con su dispersión en el espacio. Por lo tanto, las abundancias calculadas deben ser consideradas como una cantidad relativa de su dinámica temporal. Relaciones empíricas entre la captura y la proporción de infestación, como la desarrollada para *D. saccharalis* (Fava y Trumper, 2009), permitirán la adecuación de los pronósticos a las condiciones de campo. Con el presente modelo, en su estado actual de avance, se pueden plantear nuevas hipótesis acerca del momento en que pueda ocurrir el surgimiento de plagas, su eventual necesidad de control o su posible persistencia en el ambiente, incluso frente a condiciones de cambio climático.

Resulta de interés para el análisis de estrategias de Manejo Integrado de Plagas desarrollar vínculos con bases de datos en línea de monitoreo. De tal forma, se dispondrá de extensas fuentes de información con acceso automatizado hacia los modelos desarrollados, así como la comunicación y extensión de los resultados. En una próxima fase de desarrollo, se planea implementar interacciones con niveles tróficos superiores, tales como depredadores, patógenos y parasitoides, sin exclusión de controles químicos. Asimismo, se intenta la expansión a modelos de representación espacial. Este sistema complejo permitirá la evaluación de efectos en escala geográfica de las series térmicas, controles de poblaciones y disponibilidad de cultivos hospedantes sobre potenciales plagas.

Agradecimientos

El grupo de desarrollo de ARTROPOB desea agradecer a por sus importantes aportes de información a Diego H. Pons (diapausa *D. saccharalis*), Fernando D. Fava (manejo de plagas), Gustavo Ríos Garcés (variabilidad de desarrollo), Agostina Giacobino (reproducción *D. saccharalis*), Diego Ortiz y Claudia Vega (ecofisiología de cultivos). El financiamiento de ARTROPOB provino de INTA (AEPV 1542) y MINCyT Pcia. Córdoba (GRF 2006). Actualmente es parte del proyecto de INTA AEPV 215012.

Referencias

1. Briere, J.F.; P. Pacros; A. Le Roux & J.S. Pierre. 1999. A novel model of temperature dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.* 28: 22-29.
2. Curry, G.L. and R.M. Feldman. 1987. *Mathematical foundations of population dynamics*. TEES Monograph Series. Texas Engineering Experiment Station. The Texas A&M University Press. USA. 246 pp.

3. Fava, F.D. y E.V. Trumper. 2009. Monitoreo de abundancia relativa de adultos de *Diatraea saccharalis* con trampa de luz y estimación de la densidad de desoves en maíz. XIII Jornadas Fitosanitarias Argentinas.
4. Gilbert, E.; J. A. Powell J. A. Logan and B. J. Bentz. 2003. Predicting phenological events for temperature dependent development, given variability in both environment and phenology. Thesis. Department of Mathematics and Statistics. Utah State University. Logan, Utah. USA. 35pp.
5. Gilbert, E.; J. A. Powell J. A. Logan and B. J. Bentz. 2004. Comparison of Three Models Predicting Developmental Milestones Given Environmental and Individual Variation. Bull. Math. Biol. 66: 1821-1850
6. Greco, N. 1995. Tablas de vida de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) en laboratorio. Rev. Fac. Agron. La Plata. 71(2): 157-164.
7. Hilbert, D.W. and J.A. Logan. 1983. Empirical model of nymphal development for the migratory grasshopper, *Melanopus sanguinipes* (Orthoptera, Acrididae). Environ. Entomol. 12: 1-5.
8. Johnson, D.W.; C.S. Barfield and G.E. Allen. 1982. Temperature dependent developmental model for the velvetbean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae). Environ. Entomol. 12: 1657-1663.
9. Kantolic, A.G.; P.I. Jiménez y E.B. de la Fuente. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Satorre, E.; Benech-Arnold, R.; Slafer, G.; de la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M. y Savin, R., eds. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Pág. 167-201.
10. King, E.G., F.D. Brewer and D.F. Martin. 1975. Development of *Diatraea saccharalis* (Lep.: Pyralidae) at constant temperatures. Entomophaga 20: 301-306.
11. Moscardi, F.; C.S. Barfield and G.E. Allen. 1981. Effects of temperature on adult velvetbean caterpillar oviposition, egg hatch, and longevity. Ann. Entomol. Soc. Am. 74: 167-171.
12. Pereira de Melo, A.B. 1984. Biología de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Pyralidae) em diferentes temperaturas para determinação das exigencias térmicas. Dissertação, Mestre em Cs. Biológicas, Entomología. ESALQ, USP. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil.
13. Pons, D. H ; E. V. Trumper y N. Iannone. 2008. Modelo predictivo de emergencia postinvernal de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). VII Congreso Argentino de Entomología. p. 294.
14. Pons, D. H. y E. V. Trumper. 2006. Estrategia bet-hedging en *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). Reunión Argentina de Ecología. p. 332.
15. Powell, J. A. and B. J. Bentz. 2009. Connecting phenological predictions with population growth rates for mountain pine beetle, an outbreak insect. Landscape Ecol. 24:657-672

Datos de Contacto

Julio D. Edelstein. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - EEA Manfredi - Sección Entomología; Ruta Nacional N° 9, Km 636 (5988) Manfredi, Córdoba, Argentina. Email: jedelstein@manfredi.inta.gov.ar

Carlos A. Bartó. Universidad Nacional de Córdoba – Facultad de Cs. Exactas Físicas y Naturales – Depto. de Computación, (5000) Córdoba, Argentina. Email: cbarto@gmail.com

Eduardo V. Trumper, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - EEA Manfredi - Sección Entomología; Ruta Nacional N° 9, Km 636 (5988) Manfredi, Córdoba, Argentina. Email: etrumper@manfredi.inta.gov.ar

Figuras

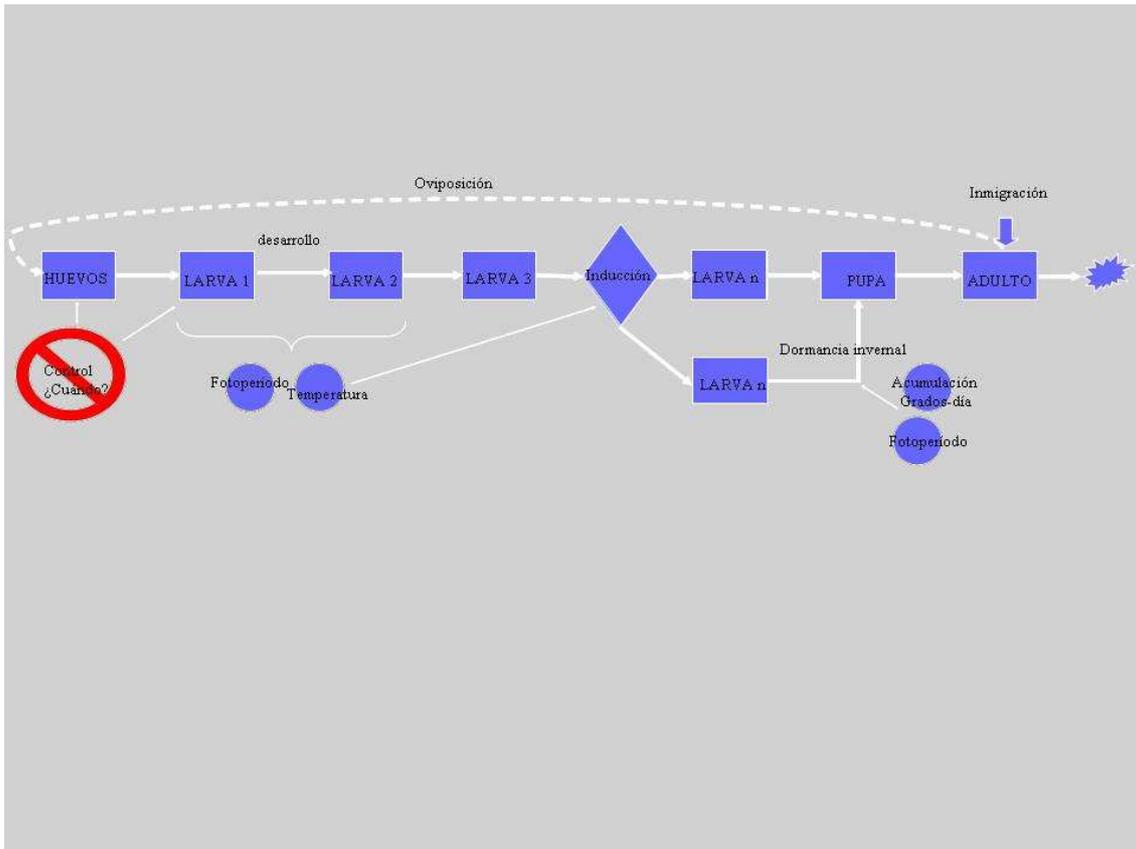


Figura 1: Diagrama de flujo de información del ciclo vital de artrópodos, aplicado en ARTROPOB.

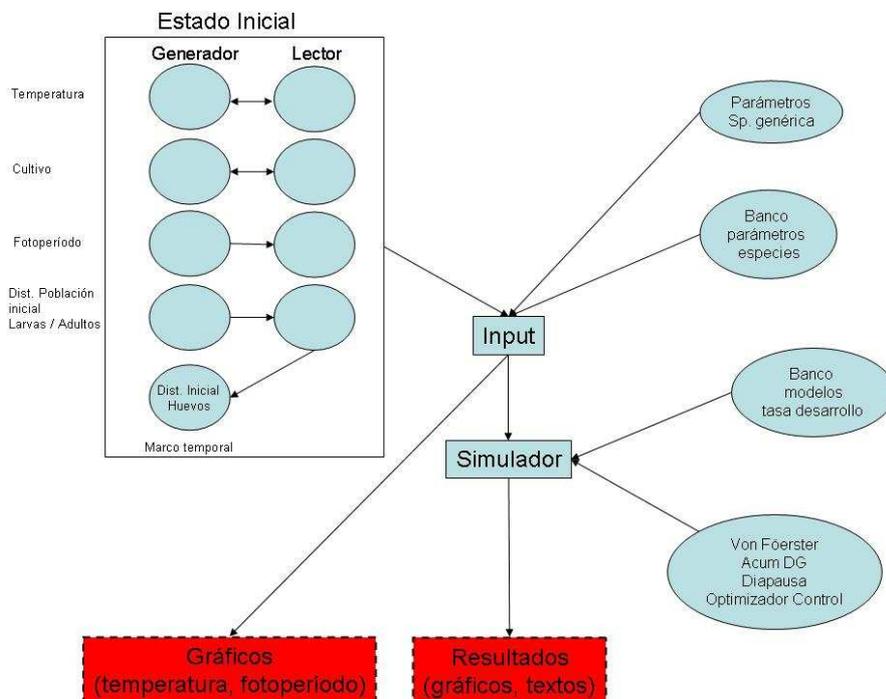


Figura 2: Estructura funcional de sistema de simulación de poblaciones de organismos ectotérmicos ARTROPOB.

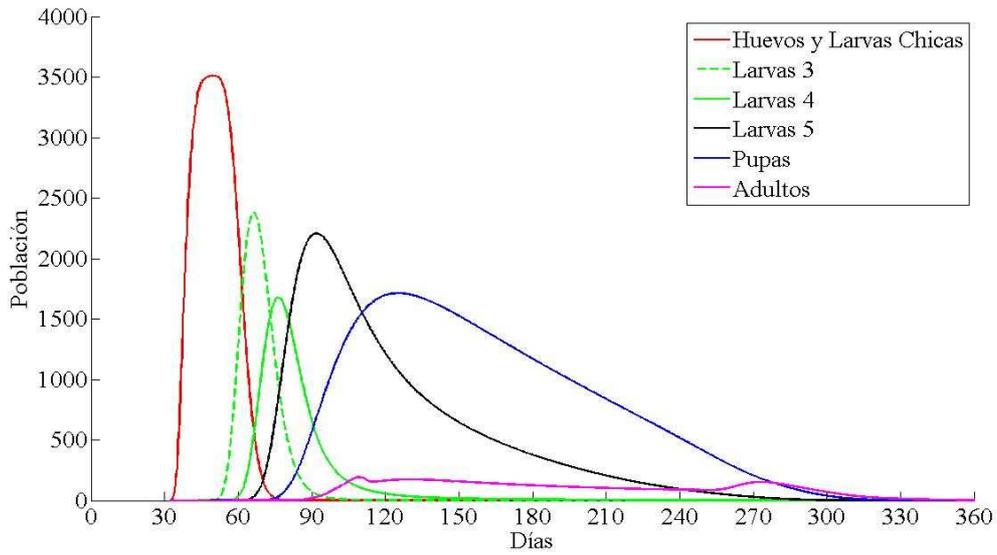


Figura 3: Dinámica simulada de una generación de *Anticarsia gemmatalis* a partir de un ingreso de adultos el 01/02.

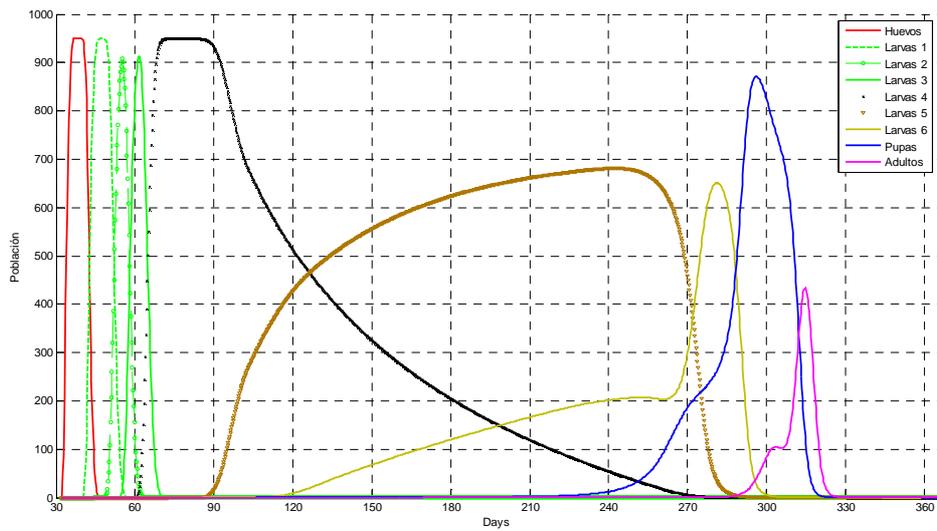


Figura 4: Dinámica simulada de una generación de *Diatraea saccharalis* a partir de un ingreso de adultos el 01/02.

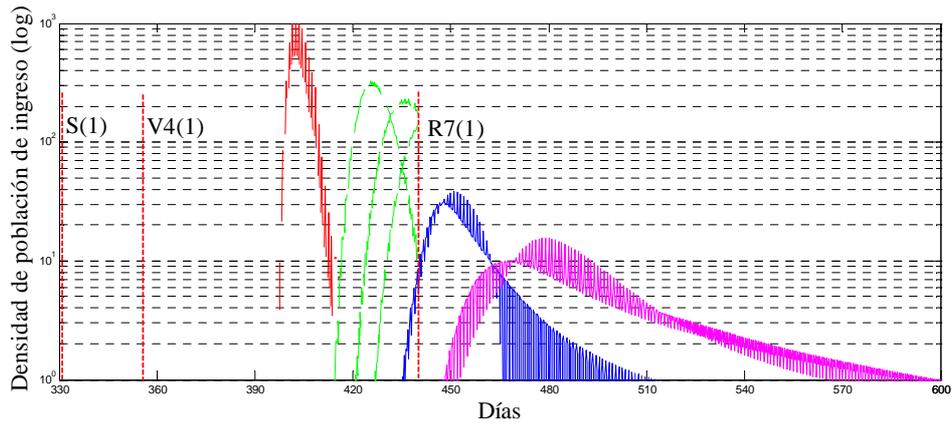


Figura 5: Dinámica de ingreso de una generación de *Anticarsia gemmatalis* en relación con la disponibilidad de alimento, considerando un cultivo de soja sembrado el 1/12.

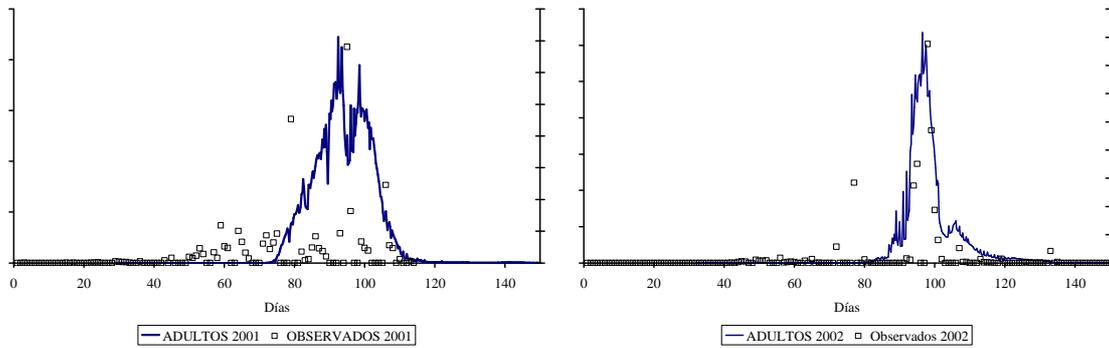


Figura 6: Dinámica poblacional de adultos de *Anticarsia gemmatalis*, observada en trampas de luz blanca y simulada (flujos de salida) por ARTROPOB, para 2 años en Manfredi, Córdoba, Argentina.