

Nuevas herramientas de control

Uso de modelos matemáticos para la elaboración de sistemas de ayuda a la decisión en el manejo de enfermedades del viñedo

E. González-Domínguez*, T. Caffi y V. Rossi (Department of Sustainable Crop Production - DI.PRO. VE.S., Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Italy. Elisa.GonzalezDominguez@unicatt.it).

En los últimos años, nuevas metodologías han incrementado nuestra habilidad para investigar y entender las complejas relaciones que se producen entre un patógeno, la planta huésped y el medioambiente. El siguiente artículo aborda la elaboración de modelos matemáticos para mejorar la toma de decisiones en el manejo de enfermedades del viñedo, desde los primeros sistemas de predicción a los más actuales, donde los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) han hecho posible incorporar modelos mecanísticos en sistemas de soporte a la toma de decisiones para poder transferirlos fácilmente a los técnicos y agricultores.

Tradicionalmente, el control de enfermedades en el viñedo se basa en la aplicación de fungicidas a calendario. De esta forma, las plantas se mantienen protegidas en todo momento, pero los viticultores dependen completamente del uso de fungicidas químicos. De hecho, el control de plagas y enfermedades en viticultura representa una parte importante de los pesticidas usados en Europa. La directiva europea 128/2009/EC, relativa al uso sostenible de fungicidas, obliga al manejo integrado de plagas en el viñedo (MIP) con el objetivo de reducir el impacto negativo de los pesticidas en la salud humana y el medio ambiente. Una de las claves del MIP es proteger los cultivos únicamente cuando es necesario, es decir, cuando existe un riesgo de que el patógeno se desarrolle, infecte las plantas y cause daño (Rossi y col., 2012).

El clima es uno de los aspectos claves en el desarrollo de enfermedades en la vid, por lo que la relación entre las condiciones climáticas y desarrollo de enfermedades en plantas ha sido uno de los aspectos más estudiados en patología vegetal. Los primeros sistemas de predicción de enfermedades se desarrollaron a mitad del siglo XIX, siguiendo un enfoque empírico. En estos casos se utilizaban herramientas muy simples que mostraban la relación entre los diversos estadios del patógeno y combinaciones específicas de condiciones climáticas (De Wolf y col., 2007) (Figura 1).

La llamada regla de los tres dieces (3-10), utilizada para predecir la primera infección de mildiu en campo, es un ejemplo de un enfoque empírico para entender la relación entre un patógeno, su planta huésped y el ambiente. Usando este enfoque para desarrollar un modelo empírico, se buscan relaciones matemáticas o estadísticas entre un *set* de datos recogidos en campo; en este caso, entre las condiciones climáticas observadas, la fenología del cultivo y la aparición de síntomas en planta. Pero esa relación no tiene por qué tener un significado causa-efecto; por ejemplo, en el *set* de datos recogidos pueden obviarse condiciones que también contribuyen al desarrollo de la enfermedad. De hecho, la falta de conocimiento, precisión y especialmente

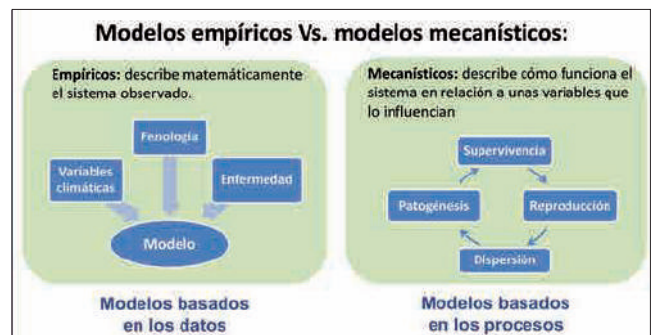


Figura 1. Esquema de los modelos empíricos y mecanísticos.

robustez son algunos de los principales problemas asociados a este tipo de modelos (Tabla 1). Por ello, son necesarias extensas validaciones que incluyan distintas localidades y un amplio número de años; en muchos casos los modelos se deben calibrar para poder ser utilizados en ambientes distintos o en condiciones climáticas diferentes. Metodologías recientes de análisis de datos, como las redes neurales (*neural networks* en inglés), mejoran la capacidad de buscar la estructura matemática del modelo, pero no logran superar las debilidades mencionadas anteriormente (Liao, 2005). En general, las mejoras en la capacidad de monitorear la meteorología y de procesar los datos obtenidos automáticamente han contribuido al desarrollo de nuevos y más complejos modelos predictivos. De todas formas, los modelos empíricos han predominado por un largo período de tiempo (De Wolf y col., 2007).

En los últimos años, nuevas metodologías han incrementado nuestra habilidad para investigar y entender las complejas relaciones que se producen entre un patógeno, la planta huésped y el medioambiente. Importantes mejoras

¿Lo
quieres
verde?

Actyvium[®]
Inductor de Clorofila **fzM**

Inductor de Clorofila



Balance Óptimo Fe-Mn-Zn



Rapidez en la corrección



Persistencia en la corrección



Garantía Tradecorp



Alcalá, 498 - 3ª planta
28027 Madrid

www.tradecorp.es

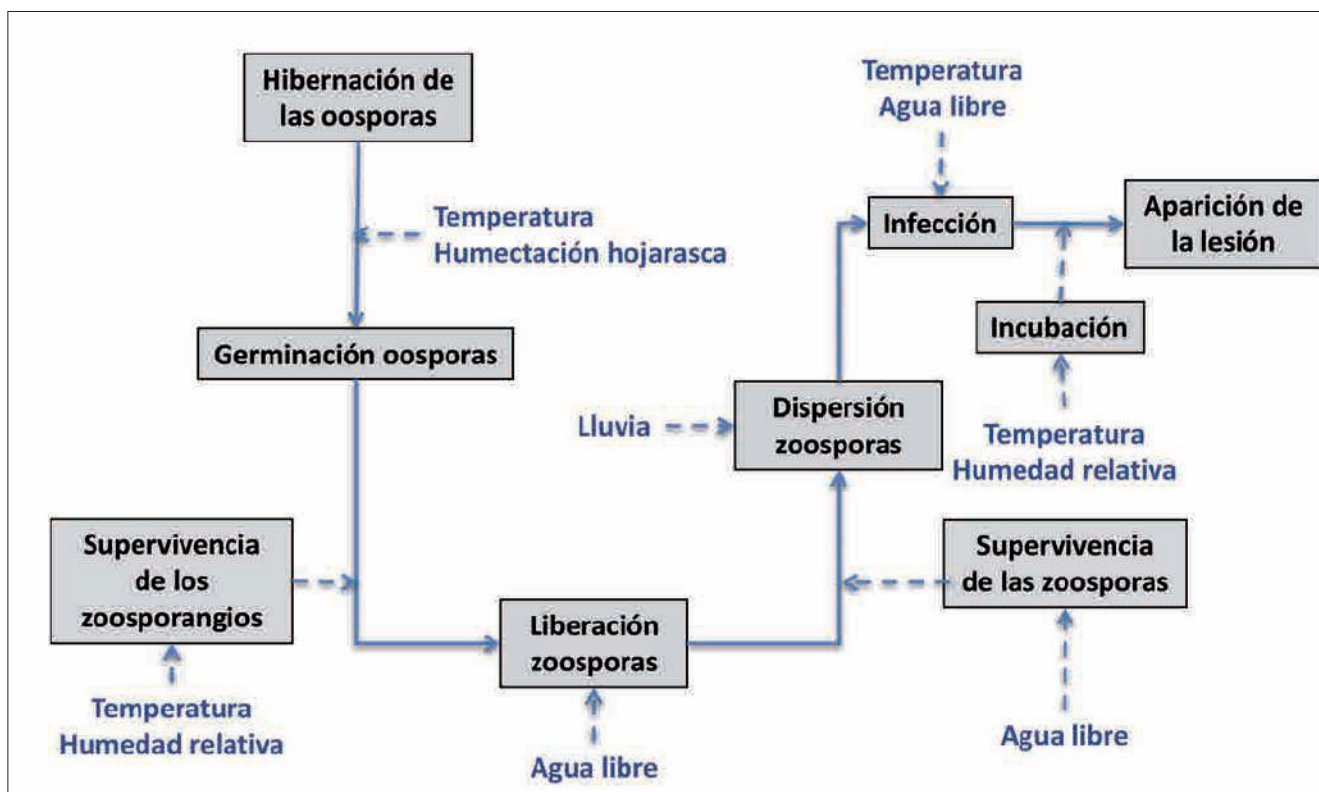


Figura 2. Diagrama de flujo relativo a las infecciones primarias de mildiu. Los cuadros grises indican los principales procesos que se producen durante una infección primaria. En azul, los parámetros ambientales que influyen en cada uno de los procesos.

se han obtenido con el uso de modelos dinámicos mecanísticos (De Wolf y col., 2007). Los modelos mecanísticos son una nueva clase de modelos basados en el conocimiento de la biología y la epidemiología de un determinado patosistema (Figura 1). Estos modelos se basan en el conocimiento previo acerca de cómo funciona el sistema en función de las variables que lo influyen (condiciones medioambientales, características de la planta huésped, medidas de control, etc.). Este conocimiento principalmente se obtiene de experimentos específicos desarrollados en campo o en laboratorio, estudiando cómo influyen las condiciones ambientales al desarrollo del patógeno. Los modelos mecanísticos son dinámicos, porque analizan los cambios en el tiempo de las diferentes etapas de una epidemia en función de las variables externas que lo influyen (Rossi y col., 2010). Para ello, se construyen diagramas de flujo como el representado en la Figura 2 para las infecciones primarias de mildiu. Este tipo de modelización se basa en la idea de que el estado de un patosistema en un momento dado puede ser caracterizado cuantitativamente y los cambios en el sistema pueden ser descritos mediante ecuaciones matemáticas (Rossi y col., 2010). Estos modelos superan la mayoría de las debilidades de los modelos empíricos (Tabla 1). La precisión y robustez de los modelos mecanísticos es significativamente mayor que la de los empíricos. Por ejemplo, comparada con la regla de los 3-10, un modelo mecanístico para mildiu incrementa la precisión de las predicciones en un 60-90% (Caffi y col., 2007).

Los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) han hecho posible el incorporar los modelos mecanísticos en sistemas de soporte a la toma de decisiones (DSS en inglés) para poder transferirlos fácilmente a los técnicos y agricultores (Rossi y col., 2014). En el pasado, el

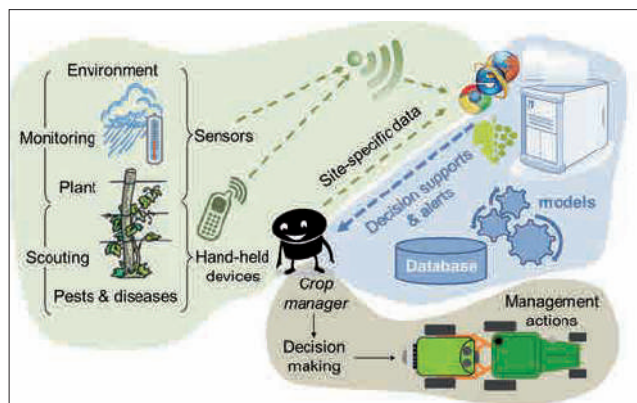


Figura 3. Esquema del funcionamiento del DSS Vite.net. El área verde representa el sistema integrado para el monitoreo y el área azul la herramienta web que analiza esos datos. El área marrón indica cómo la información proporcionada por el DSS es utilizada por el responsable del viñedo para decidir las acciones a realizar.

uso de DSS en la agricultura era escaso debido a diversas razones: 1) no eran capaces de abordar más de uno o dos aspectos del cultivo; 2) la población no estaba habituada al uso de sistemas informáticos; 3) eran sistemas complejos; 4) necesitaban *inputs* que los agricultores no podían conseguir fácilmente; 5) no siempre se observaban beneficios respecto al coste del DSS.

Actualmente, los DSS son capaces de abordar estos problemas de implementación y se consideran herramientas útiles para ayudar a la toma de

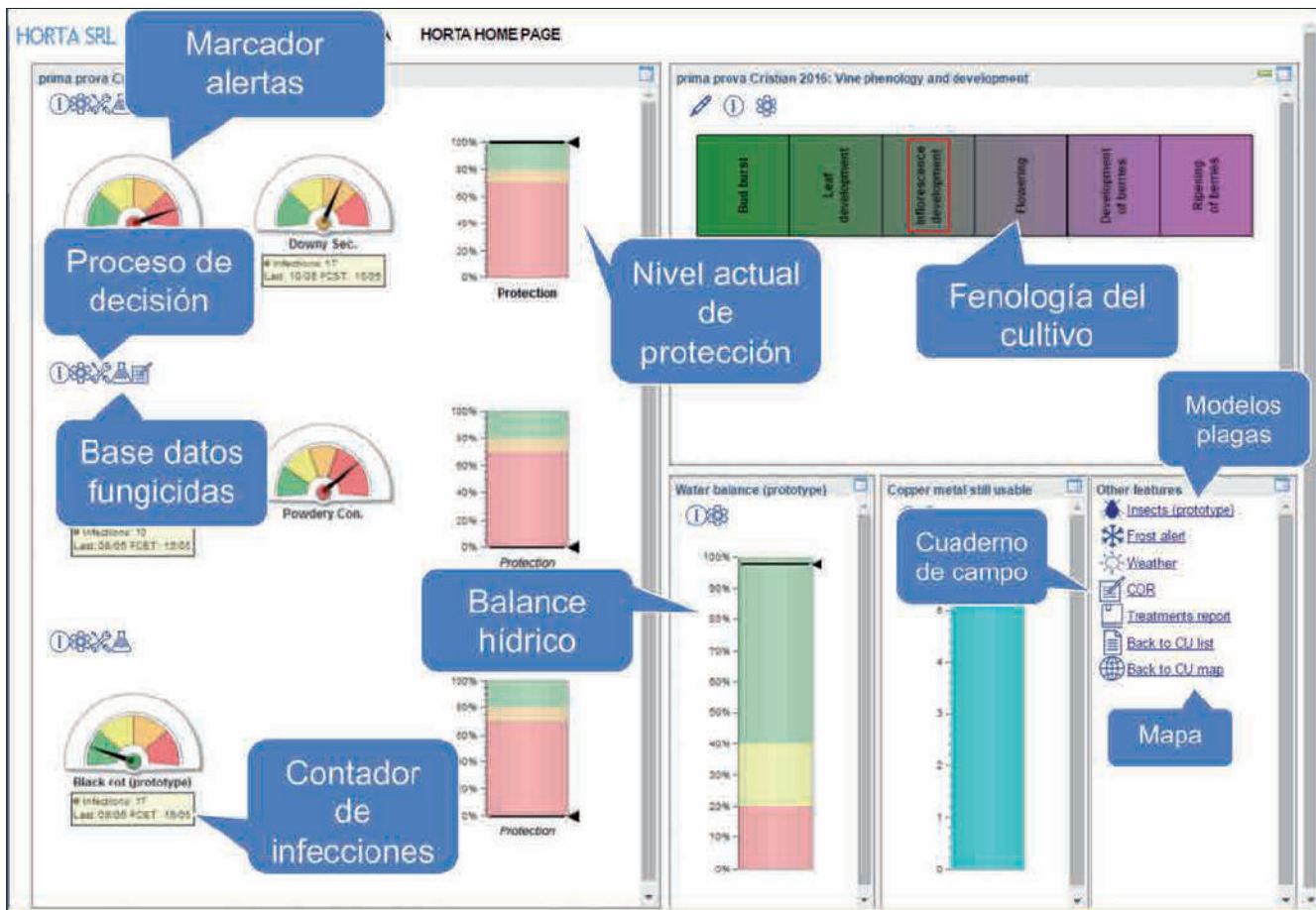


Figura 4. Esquema de la interfaz del DSS vite.net. Las llamadas indican los principales componentes del DSS, a cuya información detallada se accede clicando sobre ellos.

decisiones en la protección de los cultivos. Por ejemplo, un nuevo DSS llamado vite.net® ha sido desarrollado para el manejo integrado de los viñedos (Rossi y col., 2014). Este DSS tiene dos partes principales: 1) un sistema integrado para el monitoreo a tiempo real de los componentes del viñedo (aire, suelo, plantas, plagas y enfermedades), y 2) una herramienta web que analiza esos datos mediante el uso de avanzadas técnicas de modelización y que proporciona información actualizada para el manejo del viñedo en forma de alertas e información para la toma de decisiones (Figura 3). La información es específica para un viñedo, una única parte, o un conjunto de viñedos que sean manejados de forma uniforme a lo largo de la estación (Figura 4).

El DSS vite.net® se encuentra disponible desde enero de 2013. Actualmente en Italia lo usan más de 300 bodegas, en más de 10.000 ha a lo largo de todo el territorio.

En España, actualmente se está llevando a cabo una prueba piloto en la región del Penedés en la que participan diferentes bodegas y entes públicos. A través del proyecto europeo INNOVINE (<http://www.innovine.eu>) se ha estudiado la reducción en el uso de pesticidas (llegando al 50%) y se han desarrollado indicadores específicos del impacto de esta reducción sobre la salud y el medioambiente.

	Fortalezas	Debilidades
Empíricos	<ul style="list-style-type: none"> Fáciles de desarrollar No es necesario conocer la biología del patógeno 	<ul style="list-style-type: none"> Se necesita una amplia base de datos. Los datos deben ser representativos No aporta información de los procesos biológicos No son robustos¹ Necesaria validación y calibración
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> Alto nivel de detalle en el proceso Robusto¹ y preciso Flexible 	<ul style="list-style-type: none"> Muy complejo Multidisciplinario Necesidad de mayor tiempo e inversión para su desarrollo

¹ Por robusto se entiende la capacidad del modelo de ser preciso en condiciones ambientales diferentes.

Tabla 1. Comparación de las principales fortalezas y debilidades de los modelos empíricos y mecánicos.