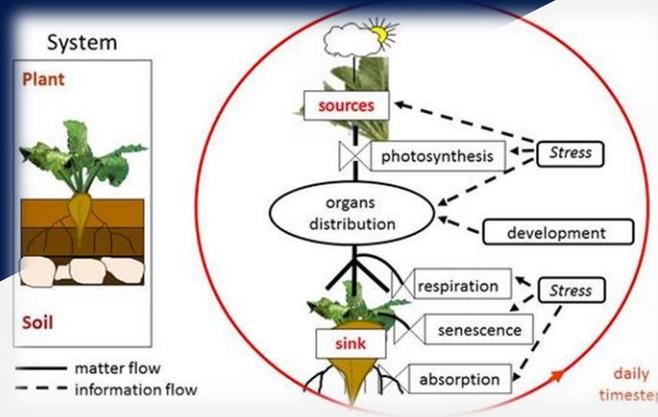




Webinar 29



La modelación del crecimiento de cultivos: conceptos, aplicaciones y retos



Dr. Agustín Ruiz García
Profesor-Investigador
Universidad Autónoma Chapingo

27 de agosto del 2020

Contenido

1. Conceptos básicos de simulación.
2. Modelación de crecimiento y desarrollo de cultivos.
3. Aplicaciones de los modelos de simulación de cultivos.
4. Retos en la modelación de cultivos.





1. CONCEPTOS BÁSICOS DE SIMULACIÓN



Términos usados para describir un sistema



Sistema. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que poseen un límite y funcionan como una unidad.

Modelo. Un modelo es una representación simplificada de un sistema. En un **modelo matemático** la representación se hace usando una ecuación o conjunto de ecuaciones.

Modelación. Modelación es el proceso de construir o desarrollar un modelo para reunir las funciones que describen los componentes del modelo resultante.

Términos usados para describir un sistema

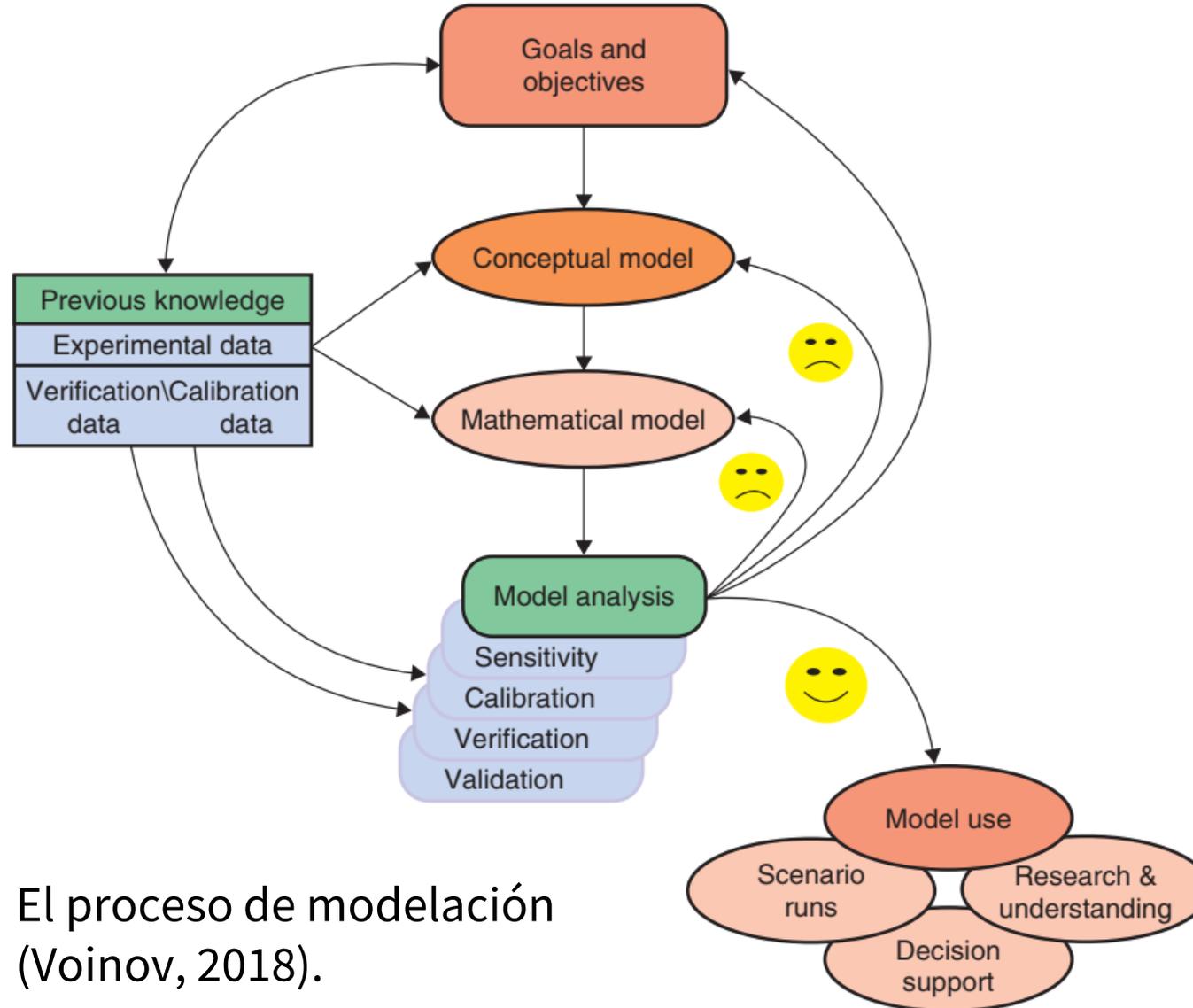


Simulación. Simulación es el acto de ejecutar un modelo y obtener resultados sobre las variables de interés. La simulación es la aplicación del modelo al tema de interés.

Análisis de sistemas. El análisis del sistema es el acto de tomar los resultados de la simulación y sintetizar las conclusiones que se pueden extraer de los resultados de la simulación.

Validación. La validación es una demostración de que un modelo, dentro de un dominio de aplicación específico, tiene una precisión predictiva aceptable en ese dominio (Thornley y France, 2007).

Metodología del desarrollo de modelos



El proceso de modelación
(Voinov, 2018).

Modelos dinámicos



Los *modelos dinámicos* predicen cómo varían las cantidades con el tiempo. Ejemplo:

$$M = M_0 + (M_f - M_0)(1 - e^{-kt})$$

donde M denota la materia seca de un organismo, t denota el tiempo y M_0 es la materia seca en el tiempo $t = 0$.

- Modelo dinámico escrito como una **ecuación diferencial**:

$$\frac{dM}{dt} = k(M_f - M), M(t = 0) = M_0$$

- Modelo dinámico escrito como una **ecuación en diferencias**:

$$M(k + 1) = M(k) + \Delta M(k) \text{ para } k = 0, 1, 2, \dots$$

donde $\Delta M(k)$ es la tasa de crecimiento de M en el tiempo k .

Clasificación de modelos matemáticos



De acuerdo a la forma en que se representan los procesos:

Modelos empíricos. Los modelos empíricos tienen como objetivo principalmente describir las respuestas de un sistema, a menudo utilizando ecuaciones matemáticas o estadísticas sin ningún contenido científico y sin restricciones por ningún principio científico (Thornley y France, 2007).

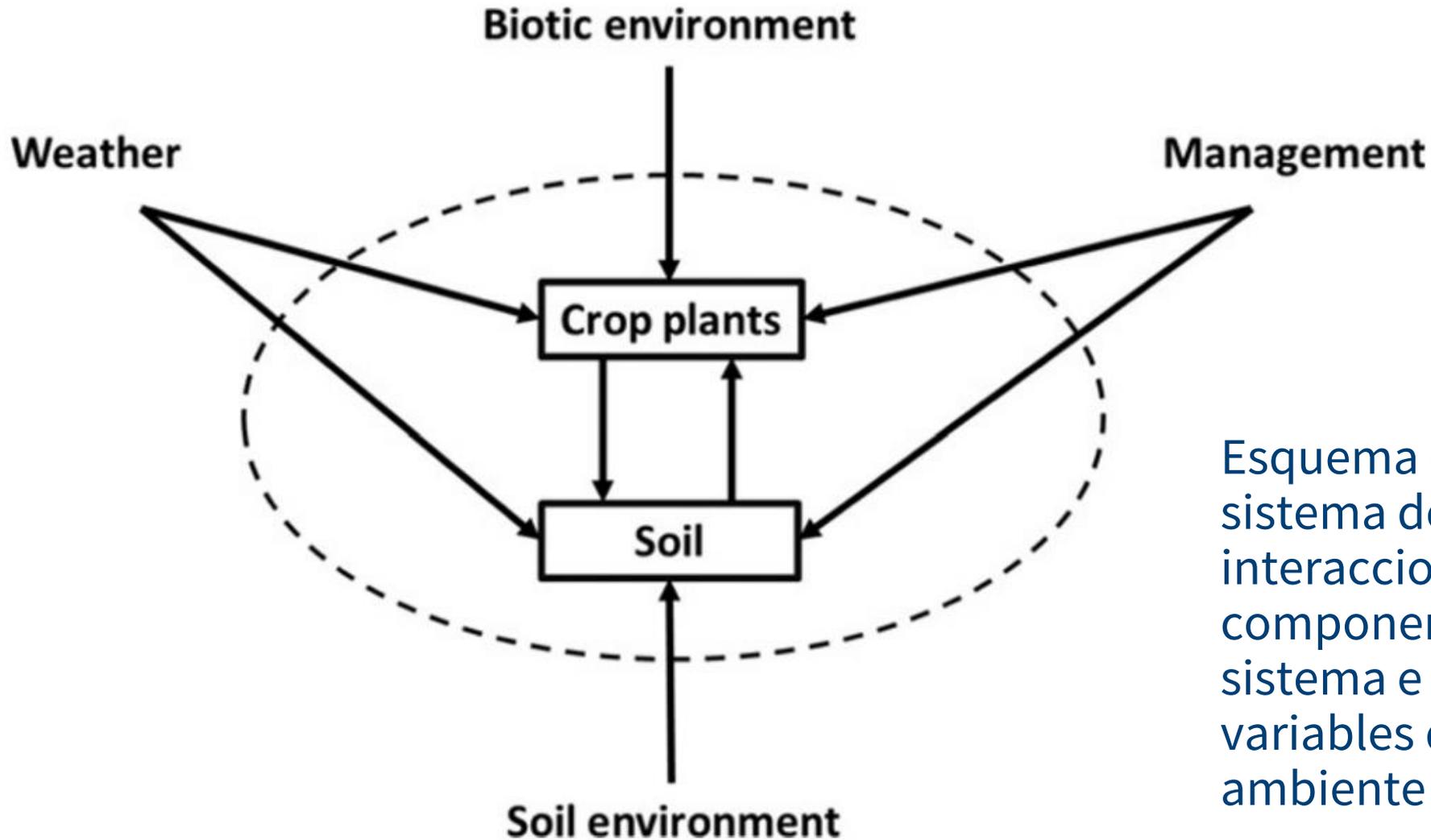
Modelos mecanicistas. Un modelo mecanicista se construye a partir de nuestro conocimiento sobre cómo funciona el sistema, cuáles son los elementos importantes y cómo se relacionan entre sí. Estos modelos representan las relaciones causa-efecto entre las variables (Teh, 2006; Thornley y France, 2007).



2. MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE CULTIVOS

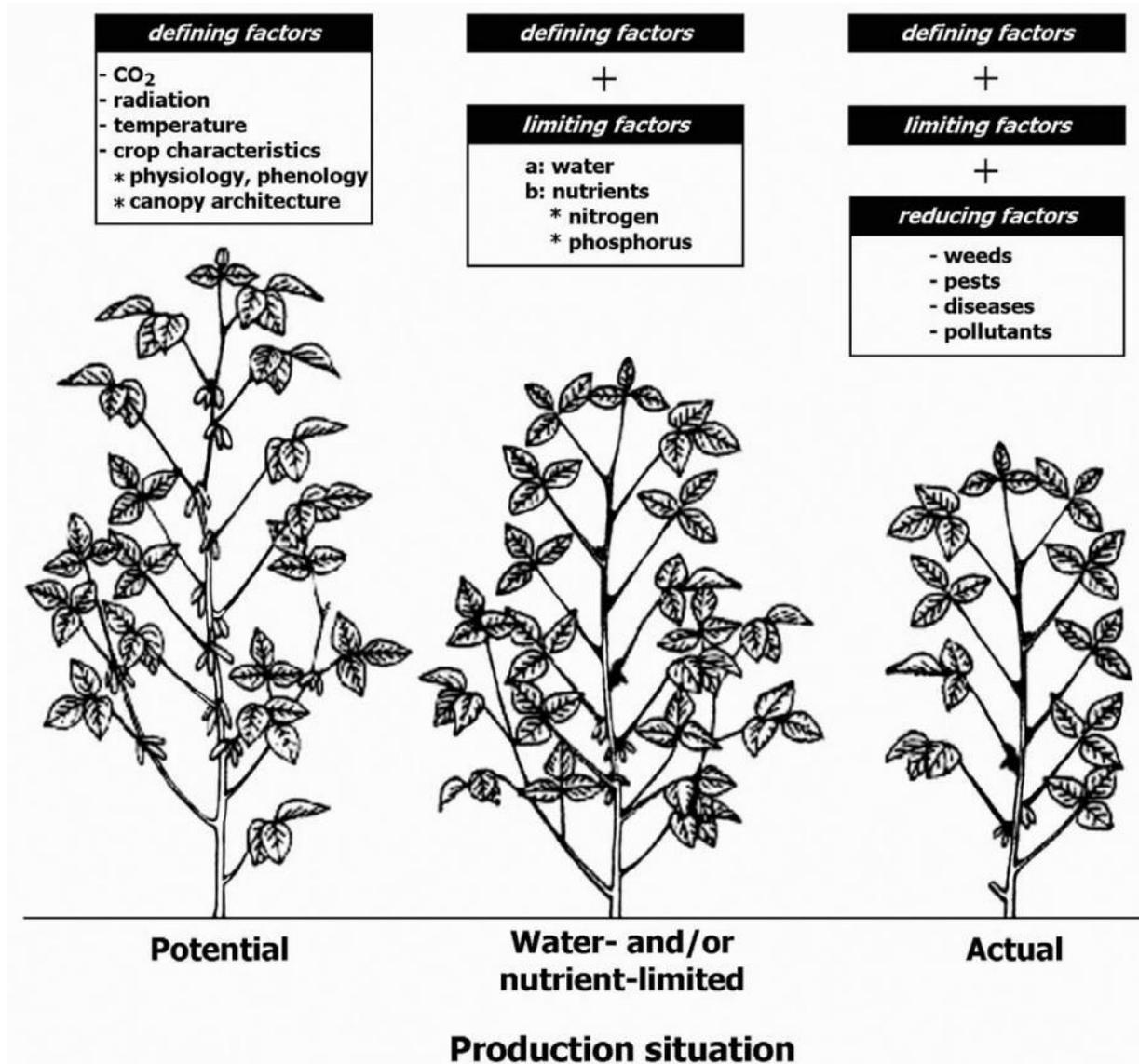


Sistema de cultivo



Esquema de un modelo de un sistema de cultivo mostrando las interacciones entre suelo y componentes del cultivo en el sistema e influencia de las variables de forzamiento del ambiente (Wallach et al., 2019).

Niveles (situaciones) de producción de cultivos



Una jerarquía de factores de crecimiento, situaciones de producción y niveles de producción asociados (van Ittersum et al., 2003).

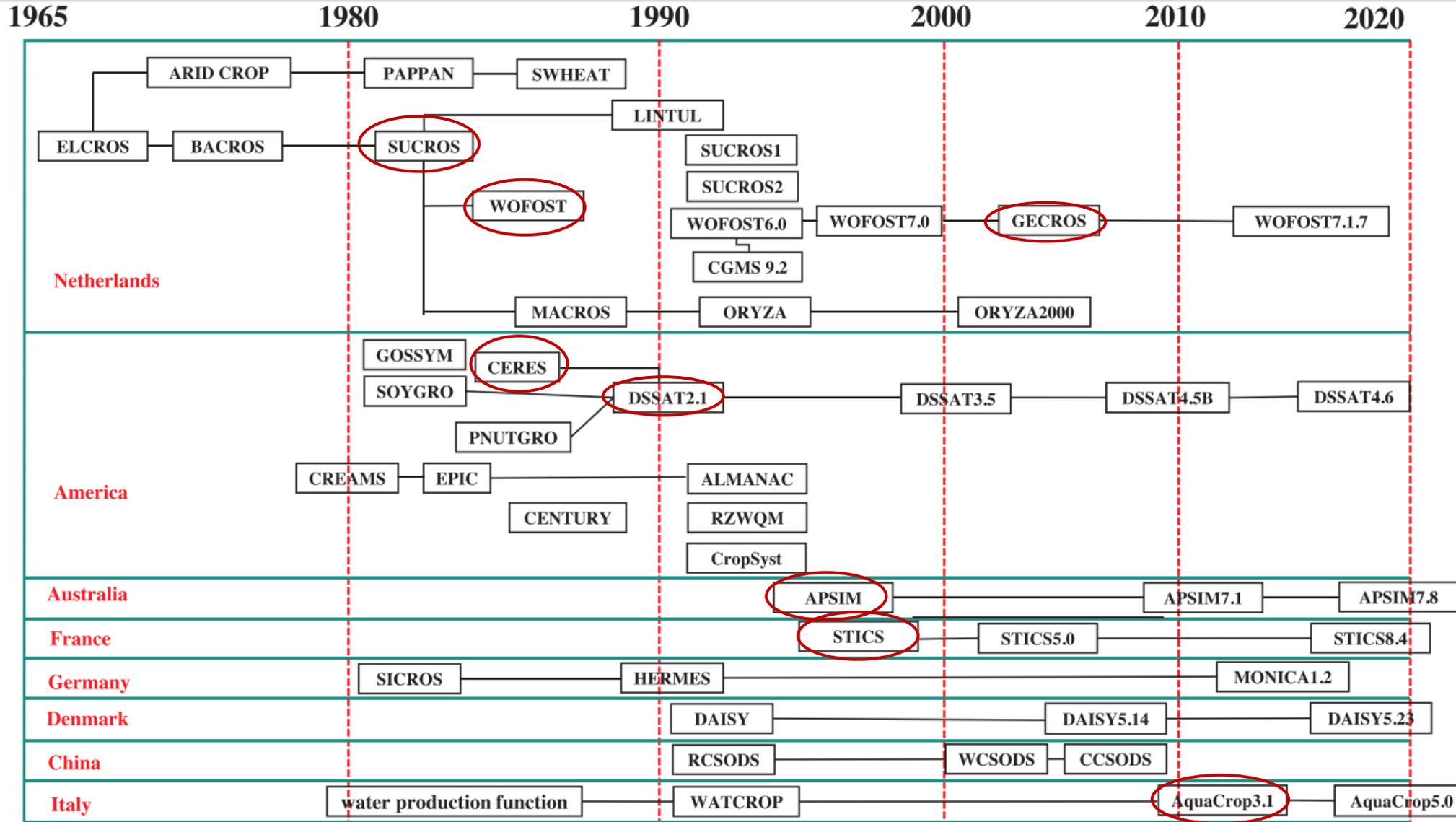
Enfoques para modelar el crecimiento



Se pueden distinguir tres maneras principales de modelar el crecimiento (Steduto, 2003):

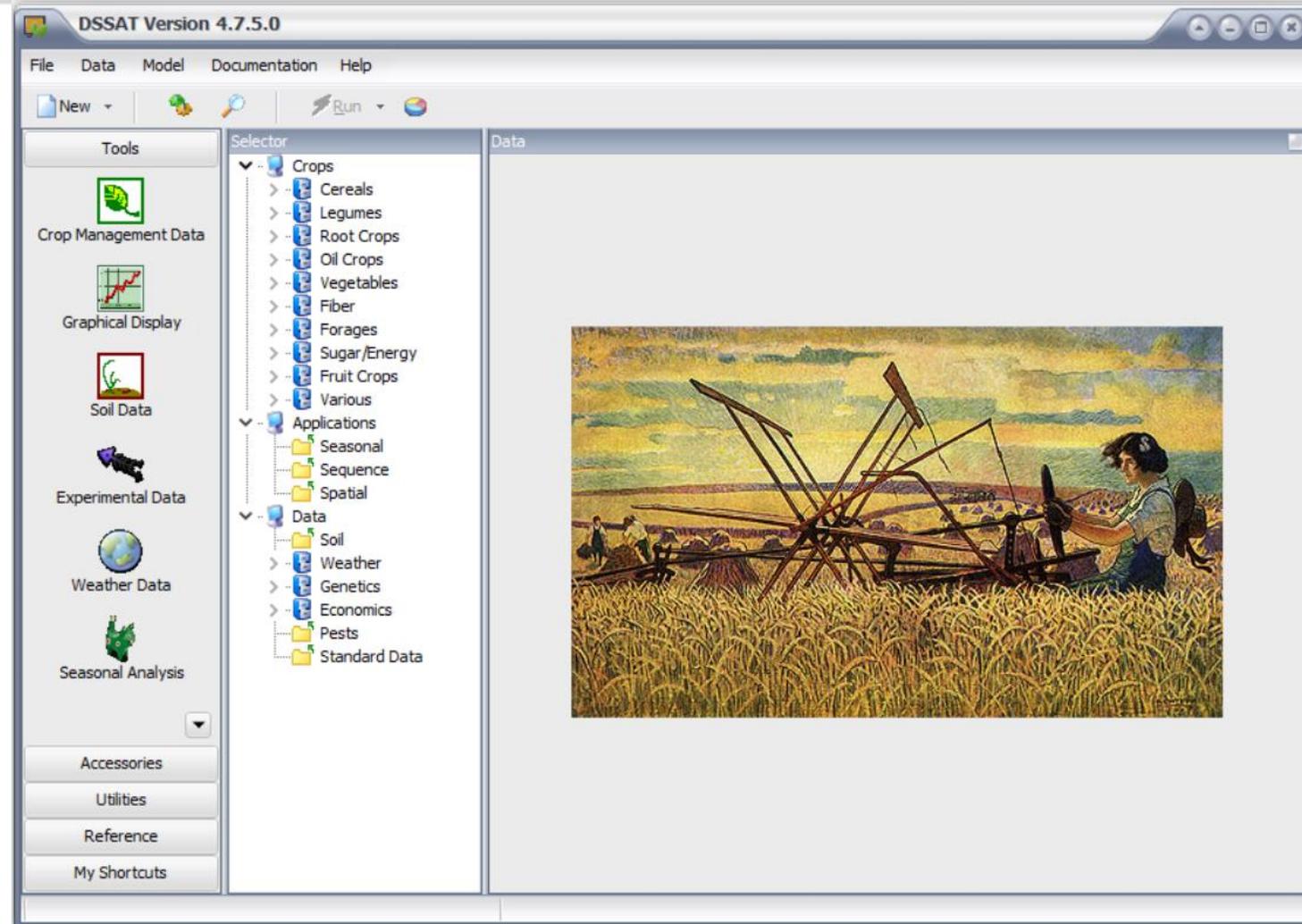
- 1. Forzamiento por carbono.** El crecimiento del cultivo se basa en la asimilación de carbono por las hojas a través del proceso de fotosíntesis.
- 2. Forzamiento por radiación.** La biomasa se deriva directamente a partir de la radiación solar interceptada a través de un coeficiente de conversión (eficiencia de uso de radiación, *RUE*).
- 3. Forzamiento por agua.** La tasa de crecimiento de biomasa es proporcional a la transpiración a través de un parámetro de productividad del agua (*WP*).

Desarrollo de los principales modelos de cultivos



Jin et al. (2018).

DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)

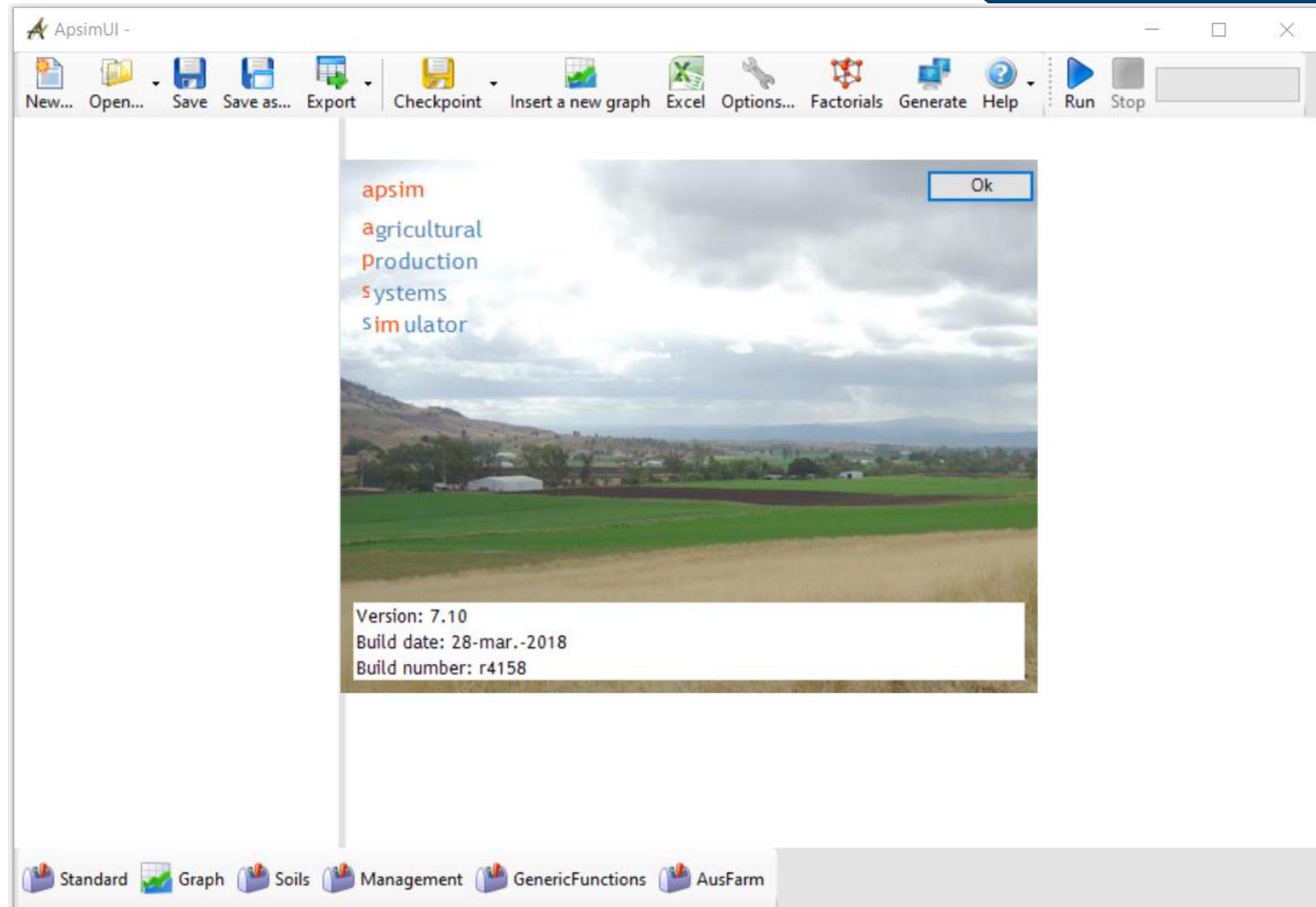


DSSAT



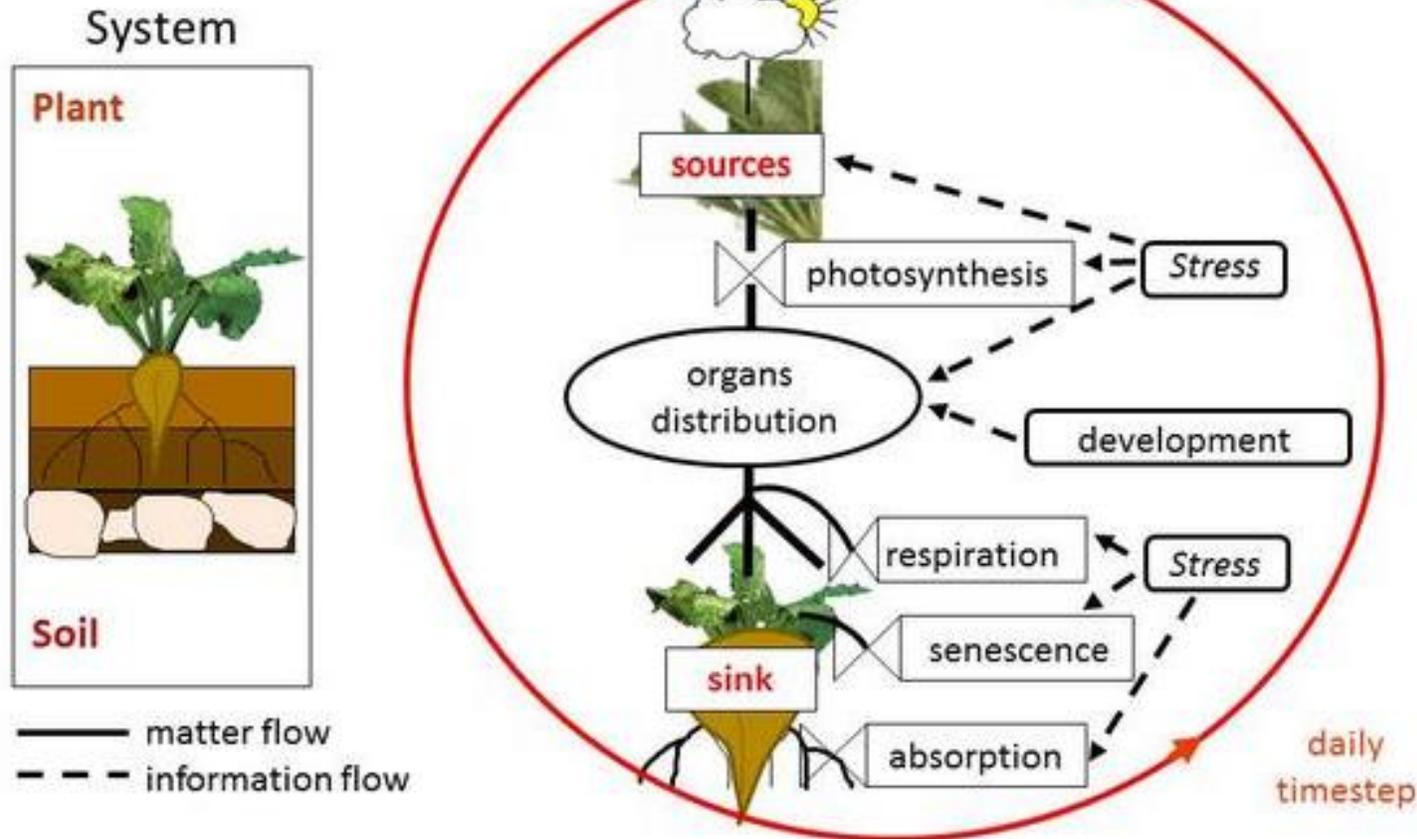
- DSSAT simula el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo creciendo en un área uniforme de terreno, con un manejo prescrito o simulado, así como los cambios del agua en el suelo, carbono y nitrógeno.
- DSSAT es una colección de programas independientes que operan conjuntamente. Base de datos describen el clima, suelo, manejo e información del genotipo.
- DSSAT incluye el modelo CERES (Crop Environment Resources Synthesis) para cereales, CROPGRO (CROP GROwth) para leguminosas de grano, además de otros modelos.
- Más información: <http://www.dssat.net>

APSIM (Agricultural Production Systems Simulator)



STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard)

STICS functioning principles (1)



El modelo STICS es un modelo dinámico, genérico y robusto que tiene como objetivo simular el sistema suelo-cultivo-atmósfera.

STICS



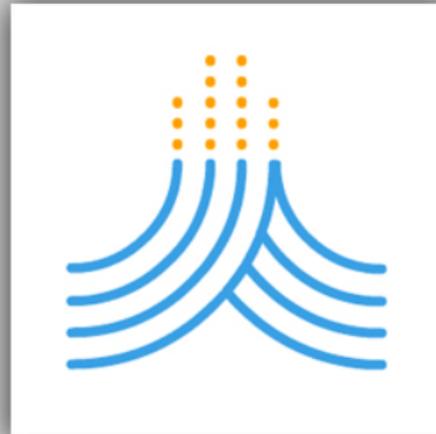
- El modelo STICS usa un enfoque dinámico con un tamaño de paso diario para simular el crecimiento del cultivo basado en el balance de carbono de la planta: la radiación interceptada por el sistema fotosintéticamente activo (caracterizado por el índice de área foliar), es transformado a biomasa particionado entre los diferentes órganos.
- Los principales procesos simulados son el crecimiento y desarrollo del cultivo, y balances de agua, nitrógeno y carbono en el sistema suelo-cultivo. Permite simular rotaciones de cultivos y los balances de carbono y nitrógeno en el suelo.
- Más información: https://www6.paca.inrae.fr/stics_eng/

AquaCrop



Version 6.1
May 2018

About



AquaCrop

Crop Water Productivity Model

English

Start

Exit



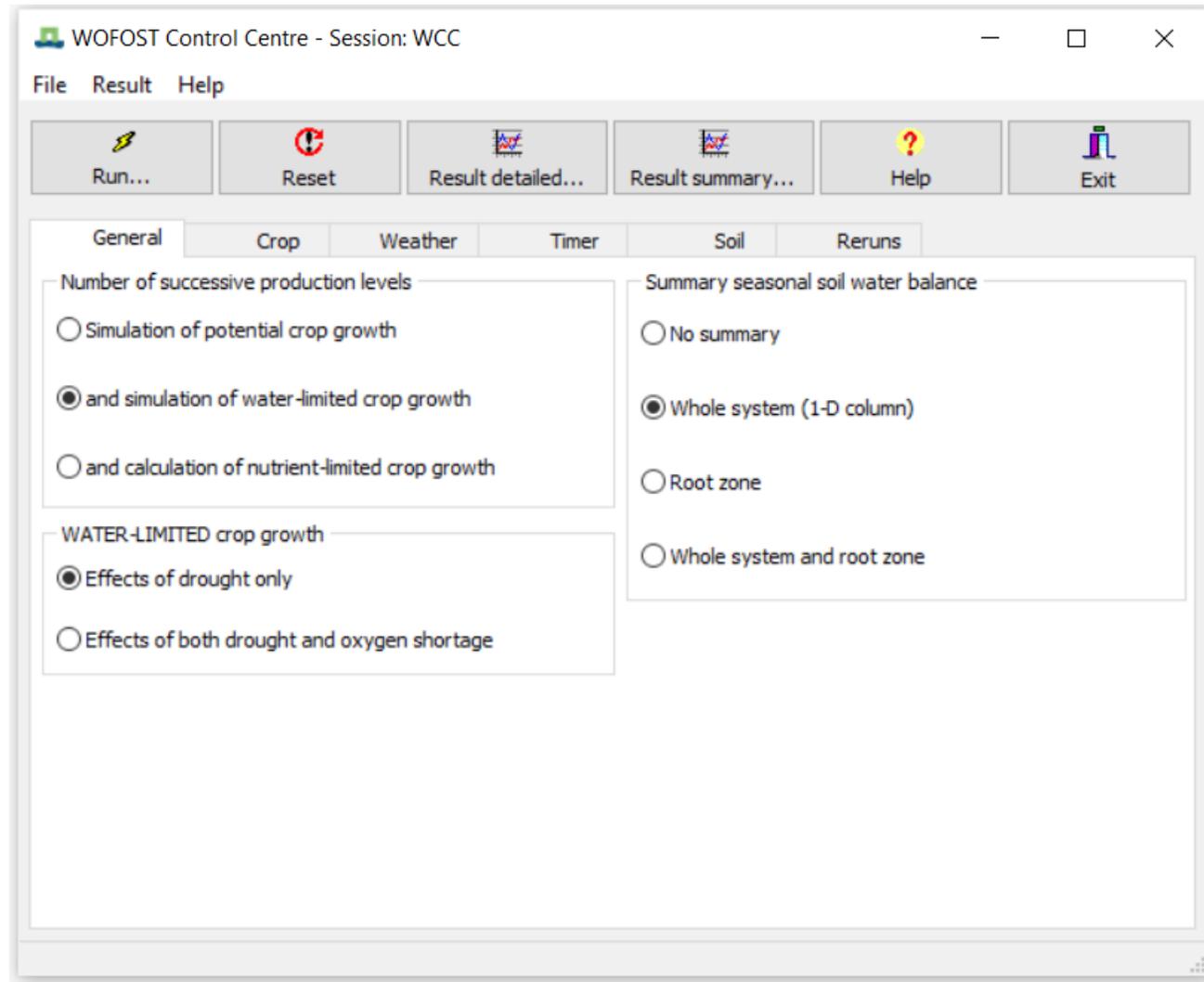
Food and Agriculture Organization
of the United Nations

AquaCrop



- El modelo AquaCrop simula el rendimiento alcanzable de cultivos herbáceos como una función del agua transpirada bajo condiciones de secano y riego.
- El motor de crecimiento de AquaCrop es forzamiento por agua, primero se calcula la transpiración y se traslada en biomasa usando un parámetro de productividad de biomasa del agua, normalizado por la demanda evaporativa de la atmósfera y concentración de CO_2 del aire.
- AquaCrop usa un número relativamente pequeño de parámetros.
- Más información: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>

WOFOST (World Food Studies)



WOFOST



- WOFOST estima el crecimiento de un cultivo anual, dado un conjunto de condiciones específicas de suelo y clima. La simulación del crecimiento se basa en procesos eco-fisiológicos.
- Los principales procesos son desarrollo fenológico, asimilación de CO_2 , transpiración, respiración, distribución de asimilados a varios órganos, y formación de materia seca. Se pueden simular la producción potencial y dos niveles de producción limitada (por agua y por nitrógeno).
- Más información: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/Environmental-Research/Facilities-Products/Software-models-and-databases/WOFOST.htm>

Modelos Estructural-Funcional de cultivos



Figure 23: Photograph and model of *Gaillardia x grandiflora* cultivar 'Oranges and Lemons'. Photograph licensed under CC BY-SA 3.0.



Figure 24: Selected frames from an animation of *Gaillardia* growth.

Estos modelos computacionales utilizan representaciones 3D de la arquitectura de las plantas para simular diferentes tipos de procesos físicos, fisiológicos o ecofisiológicos en las plantas, y permiten evaluar los efectos de estos procesos en el funcionamiento, el desarrollo y la forma de las plantas.

El formalismo L-systems fue introducido por A. Lindenmayer (1968).

Owens et al. Modeling dense inflorescences.

Modelos Estructural-Funcional



En los L-systems, la planta está representado por una cadena entre corchetes, cuyos elementos, llamados módulos, representan los componentes de las plantas (metámeros, meristemos, flores, etc.) Los módulos constan de un nombre simbólico y un conjunto opcional de parámetros. Un conjunto de reglas define cómo se transforma cada módulo con el tiempo.

Professor Przemyslaw Prusinkiewicz,
<http://algorithmicbotany.org/>

Modelos Estructural-Funcional



Fotografía



Modelo

Owens (2016)



3. APLICACIONES DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS



Algunas aplicaciones de los modelos



- Docencia.
- Investigación.
 - Prueba de hipótesis.
 - Mejoramiento genético.
 - Adaptación al cambio climático.
 - Optimización de insumos.
- Sistemas Soporte de Decisión.
 - Fechas de siembra, variedades.
 - Pronóstico de rendimiento, pronóstico de plagas y enfermedades.
 - Manejo del riego y fertilización.





4. RETOS EN LA MODELACIÓN DE CULTIVOS



Retos de la modelación de cultivos



- Mejorar la calidad predictiva de los modelos (menos modelos, pero mejores). Para una misma situación, diferentes modelos dan resultados diferentes, a veces contradictoria.
- Generar y hacer accesible información meteorológica, suelo y cultivo, necesarios para realizar las simulaciones.
- Desarrollar DSS para manejo del riego, fertilización nitrogenada, etc., considerando un público no especializado en modelación.
- Incorporar la simulación de cultivos en los programas de estudio de las carreras de ingeniería agronómica.
- Mayor colaboración entre especialistas de diferentes áreas para el desarrollo, mejora y difusión de los modelos de simulación.



Muchas gracias

Dr. Agustín Ruiz García

Profesor-Investigador

Universidad Autónoma Chapingo

agustinruizg@gmail.com

aruizg@chapingo.mx



Para citar esta presentación:

Ruiz García, A. 2020. La modelación del crecimiento de cultivos: conceptos, aplicaciones y retos. Serie de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMIIR). México. 30 pp.

Consulta el portal del COMIIR y sus redes sociales:

www.comeii.com y www.riego.mx