

## Simulación Multimodelo mediante una Arquitectura Distribuida (DACAS). DAMOCIA-Sim

Iribarne Martínez, Luis Fernando

Guirado Clavijo, Rafael

Rodríguez Díaz, Francisco

García Lázaro, José Rafael

Corral Liria, Antonio

Bienvenido Bárcena, José Fernando

SPPIAM. Departamento de Lenguajes y Computación

Universidad de Almería

Ctra. Sacramento s/n, 04120. Almería (España)

telfno: ++34-50-215078

FAX: ++34-50-215129

e-mail: liribarn@ualm.es

### RESUMEN

*El presente trabajo muestra las técnicas utilizadas en la herramienta de simulación DAMOCIA-Sim para evaluar el comportamiento de diferentes estructuras de invernadero como captadoras de energía. El proceso de simulación se divide en tareas independientes integradas dentro de un sistema multimodelo distribuido. El simulador, permite hacer uso de modelos alternativos para afrontar un mismo subproblema. El abanico de modelos y submodelos matemáticos del simulador cubre tareas para evaluar: posición del sol, radiación externa e interna, comportamiento de la cubierta, efectos de reflexión y transmisión de energía para diferentes tipos de cubierta, tratamiento de la estructura del invernadero (pilotes, mallas de sujeción del plástico, etc.), efecto de las sombras entre cubiertas (en el exterior e interior) y comportamiento energético en el interior del invernadero. Esta herramienta incorpora en gran parte de sus submodelos modernas técnicas de simulación basadas en elementos finitos (a nivel de superficies, volumen y tiempo).*

**PALABRAS CLAVE:** Simulación en invernaderos, Sistemas distribuidos, Sistemas multimodelos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La mejora de prestaciones y la reducción de costes de los sistemas informáticos ha hecho que cada vez se utilicen más para la simulación de sistemas y procesos complejos. En muchos casos estos procesos de simulación requieren la aplicación de diversos submodelos, relativos a distintos subsistemas, partes físicas, etapas o subprocesos; submodelos que se basan en principios matemáticos, físicos, químicos, etc., perfectamente diferenciados. A menudo ocurre también que se pueden aplicar distintos submodelos en un proceso concreto de simulación debido a la evolución de los conocimientos correspondientes, la mejora de las técnicas o de la capacidad de cálculo disponible, los requisitos de exactitud o focalización de los resultados o la disponibilidad de recursos. Ante esta situación, que se acentúa en los sistemas complejos, pensamos que una solución adecuada puede ser la utilización de arquitecturas de simulación multimodelo distribuidas, en las que los distintos submodelos se implementan de forma independiente e intercambiable en una arquitectura general con un diseño especialmente cuidadoso para con las estructuras de datos correspondientes a los resultados parciales de los distintos submodelos.

Dicha filosofía de simulación la hemos aplicado en nuestra herramienta DAMOCIA-Sim. El objetivo de nuestro trabajo es estudiar el comportamiento de las estructuras de invernadero como captadoras de energía, sin necesidad de construirlas. DAMOCIA-Sim se complementa con otra herramienta, DAMOCIA-Design, que define las características estructurales del invernadero a modelizar a través de un lenguaje declarativo. El método de evaluación del comportamiento de una estructura de invernadero se basa, principalmente, en la simulación del comportamiento de la radiación solar global. A partir de esta información, se evalúa el comportamiento del invernadero frente a la incidencia de la radiación, considerando las características físicas de la cubierta. El objetivo final de este simulador es facilitar la renovación y tecnificación de las estructuras de invernadero, mediante la mejora de sus condiciones microclimáticas. Este trabajo forma parte de uno más general "DAMOCIA", financiado por la Unión Europea dentro del marco de los proyectos ESPRIT (Acción Especial P7510 PACE) y el Ministerio de Industria Español (PATI PC191).

## 2. METODOLOGÍA

El simulador está compuesto por un conjunto de modelos caracterizados por existir entre ellos una 'independencia conectiva'. Cada módulo del modelizador es 'visto' por el resto como una entidad cerrada, independiente y capaz de realizar la tarea que se le tenga asignada. Sin embargo, esta independencia no es del todo ajena a la secuencia de ejecución del resto de los módulos; existe un 'paso de mensajes' entre módulos, facilitando la comunicación entre los mismos con rutinas para solicitar/conceder información. Esta información presenta un formato preestablecido, Estructuras de Datos de Intercambio de Modelización (EDIMs), válido para todo el modelizador, que se transfieren a través de un bus software al cual se conectan los módulos activos.

El simulador (o una parte de éste), en sus distintas facetas de simulación, transforma un estado inicial (Estado 1) en otro final (Estado 2) por la aplicación de diversos modelos a lo largo del tiempo. Estos modelos pueden ser, o no, dependientes en su orden de ejecución. El simulador debe ser capaz de detectar por sí mismo (desde uno de sus submódulos) o bien recibir del exterior (mediante una interfaz de simulación) si cierta tarea se debe realizar atendiendo a diferentes situaciones (Figura 1):

- (a) Por la ejecución de un conjunto de submodelos sucesivos, en los que la salida de uno se utiliza como entrada de otro u otros modelos (secuencial).
- (b) Por la ejecución de uno o más submodelos como alternativa ante diferentes situaciones (alternativas).
- (c) Por la ejecución de ciertos submodelos independientes cuyas salidas son premisas incondicionales para llegar al estado final (paralelo).

En cualquiera de los casos el propio modelizador decide el camino a tomar como transformación entre estados de simulación. El simulador completo consta de una combinación de todas estas situaciones.

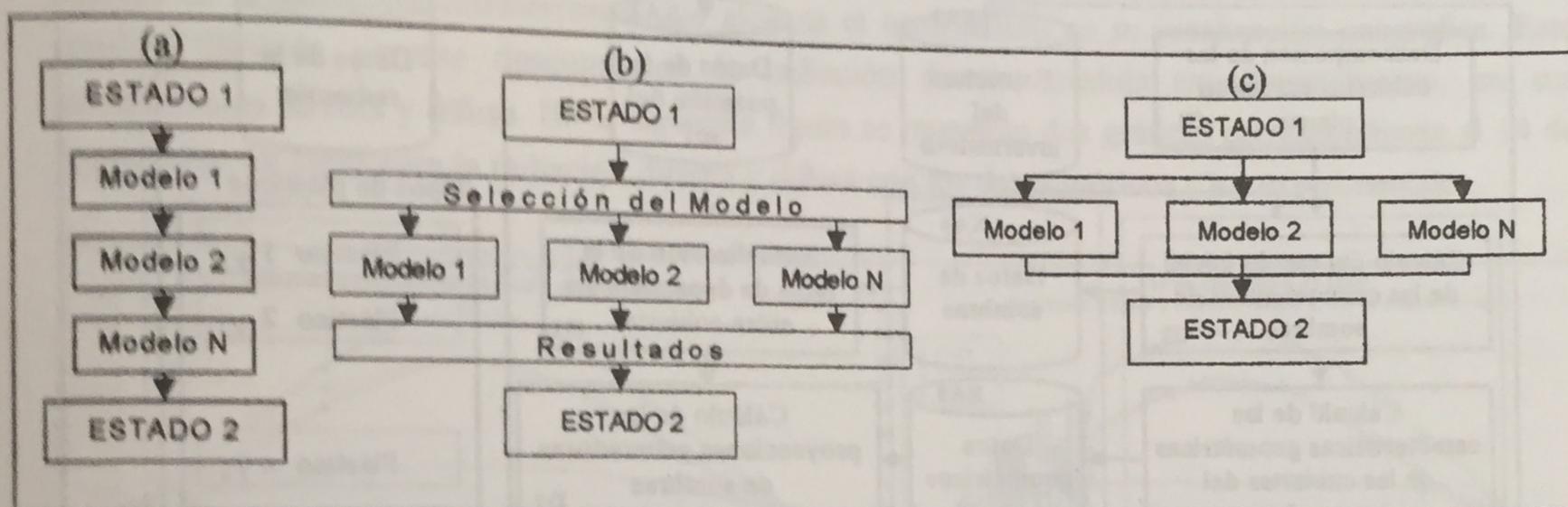


Figura 1. Tratamiento de los submodelos del simulador.

Atendiendo a estas consideraciones, la arquitectura del modelizador queda caracterizada por:

- i. Ser un *sistema multimodelo*. El modelizador dispone de un conjunto de modelos que, en función de la tarea a realizar, se ejecutan de forma secuencial, alternativa o paralela. La interdependencia de los modelos vendrá dada por el paso de mensajes entre estos y las características del proceso a simular. Es decir, cada modelo se considera como una entidad propia e independiente que dispone de unas premisas de entrada y genera unos resultados. Las premisas de entrada pueden hacer que un determinado submodelo lleve a cabo su acción o no, o que las salidas que genere conecten con unos u otros submodelos subsiguientes.
- ii. Ser un *sistema distribuido*. Por otro lado, el hecho de utilizar submodelos independientes permite aplicar una arquitectura distribuida, como es el caso de nuestra arquitectura DACAS. Modelos claramente independientes con gran necesidad de cálculo (por trabajar, por ejemplo, con elementos discretos), pueden ejecutarse no sólo como procesos separados, sino en plataformas diferentes, asignándole a cada una de ellas una tarea del proceso de simulación distinta.
- iii. Ser una *arquitectura incremental*. La arquitectura del modelizador permite incorporar nuevos modelos sin que ésta se vea afectada en su funcionamiento normal. Esto permite, junto con la idea de que los submodelos puedan ser alternativos, disponer de un amplio abanico de modelos de intercambio ("switches" de modelos) que intervengan en el proceso de simulación en función de las condiciones requeridas (p.e., el nivel de detalle que se desee obtener o la capacidad de cálculo disponible en un momento dado).

### 3. APLICACIÓN

Como ejemplo de aplicación de la arquitectura multimodelo propuesta hemos implementado DAMOCIA-Sim. A continuación, se muestra un esquema de la arquitectura general de submodelos del simulador (ver Figura 2), en la que se ha detallado el desarrollo de la fase de tratamiento de la estructura del invernadero (sin detallar las fases de tratamiento de la radiación externa e interna).

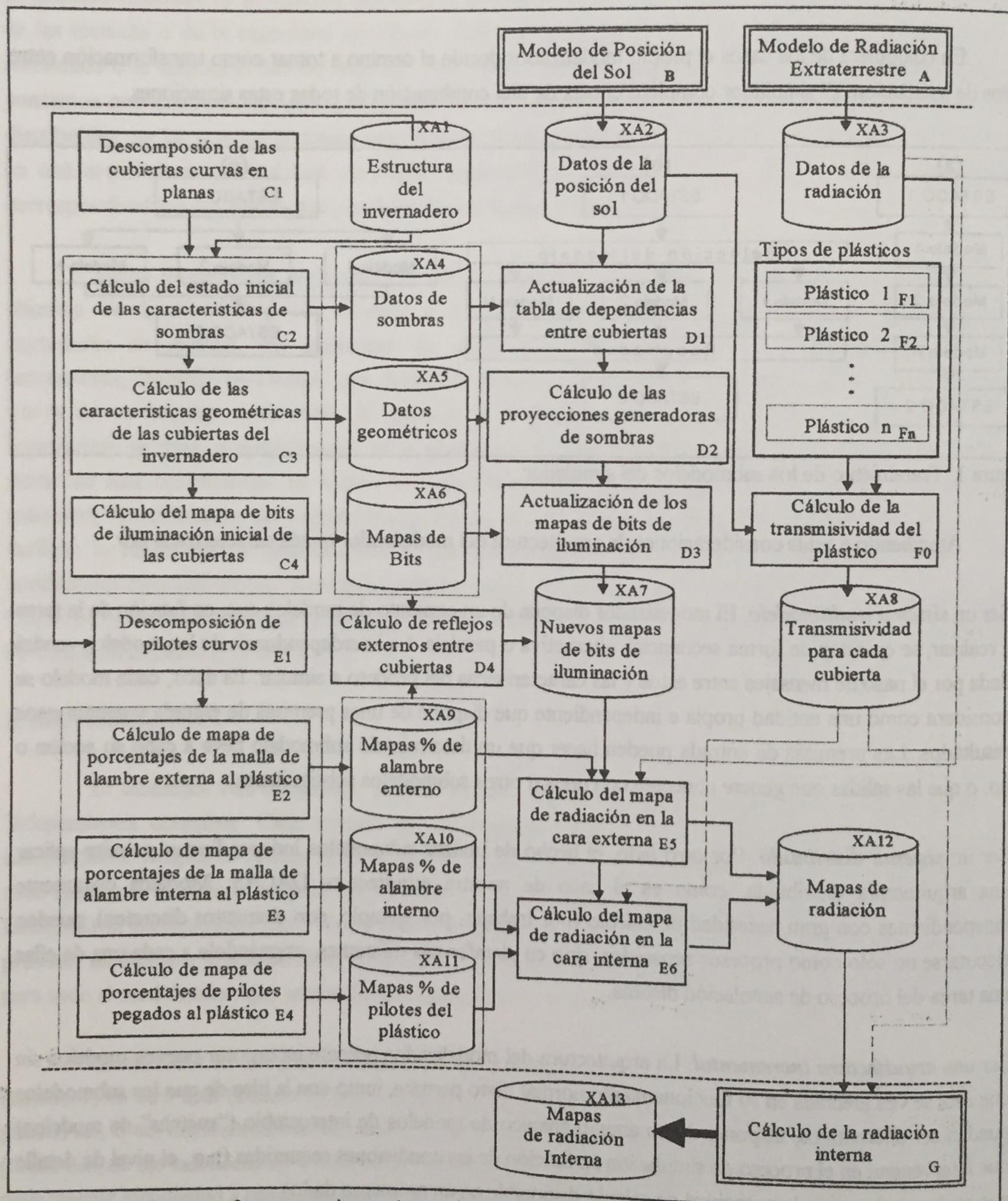


Figura 2. Arquitectura fase tratamiento de estructura del invernadero.

En el esquema de la aplicación aparecen submodelos que se aplican de forma secuencial (p.e., los submodelos E2, E3 y E4), alternativamente (p.e., D1, D2, ..., Dn) o en paralelo (E2, E3 y E3). Las estructuras de datos de intercambio, que tienen siempre un carácter general e independiente de la implementación de los submodelos que las generan o utilizan, se representan como XAn en este esquema. Todos estos submodelos tratan el tiempo y las superficies o volumen del invernadero como elementos finitos de un cierto tamaño (T, MxN, MxNxL) definido por el usuario desde la interfaz de simulación. El esquema presentado en la anterior figura es válido para el resto de la arquitectura del modelizador. Los principales modelos que intervienen en el esquema de la arquitectura, son los siguientes:

A. **Modelo de cálculo de la radiación extraterrestre.** Evalúa las distintas componentes (global, directa y difusa) de la radiación extraterrestre que alcanza el invernadero en su localización geográfica. Este modelo también permite descomponer la radiación directa, medida experimentalmente, en sus componentes directa y difusa. En la siguiente figura se muestran dos gráficas correspondiente al 14 de septiembre de 1996 para la radiación directa y difusa con los datos teóricos y los experimentales.

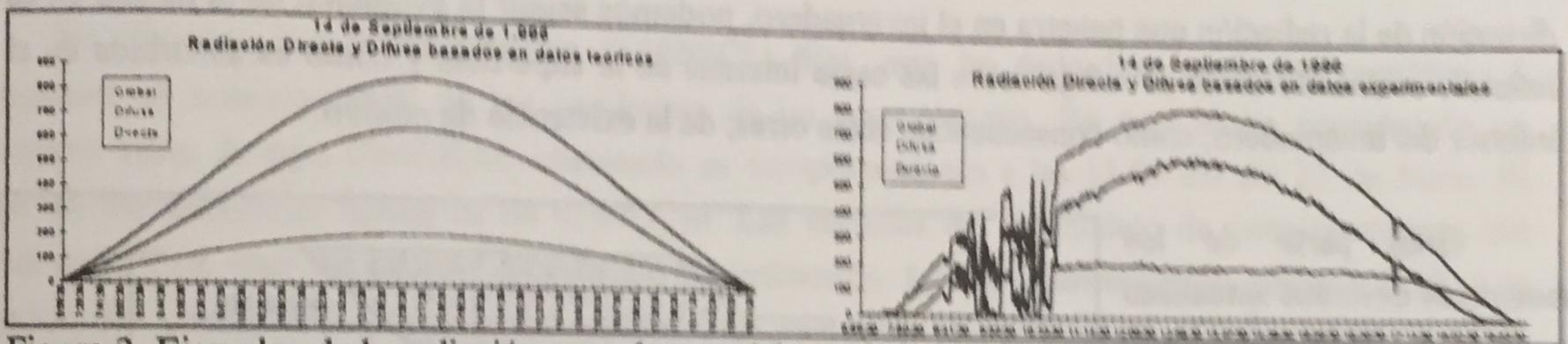


Figura 3. Ejemplos de la radiación para datos teóricos (derecha) y experimentales (izquierda).

Los resultados son remarcablemente exactos, exceptuando los periodos en las que las nubes reducen la radiación que llega a los sensores. Se está trabajando en un sistema que permita modelizar sobre una base estadística este aspecto.

B. **Modelo de cálculo de la posición del Sol.** Determina mediante coordenadas esféricas los ángulos de elevación y acimut del Sol. El principal problema planteado por el modelo desarrollado fue la indeterminación del acimut, al tomar éste valores comprendidos entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ ; la solución utilizada fue la extrapolación a valores entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ .

C. **Modelo de caracterización geométrica de las cubiertas del invernadero.** A partir de la definición declarativa de la estructura del invernadero, obtiene sus características espaciales. Realiza la discretización en elementos finitos de las superficies planas, semicilíndricas o semiesféricas. Estas últimas se realizan en dos etapas, una de conversión en superficies planas y otra de discretización final.

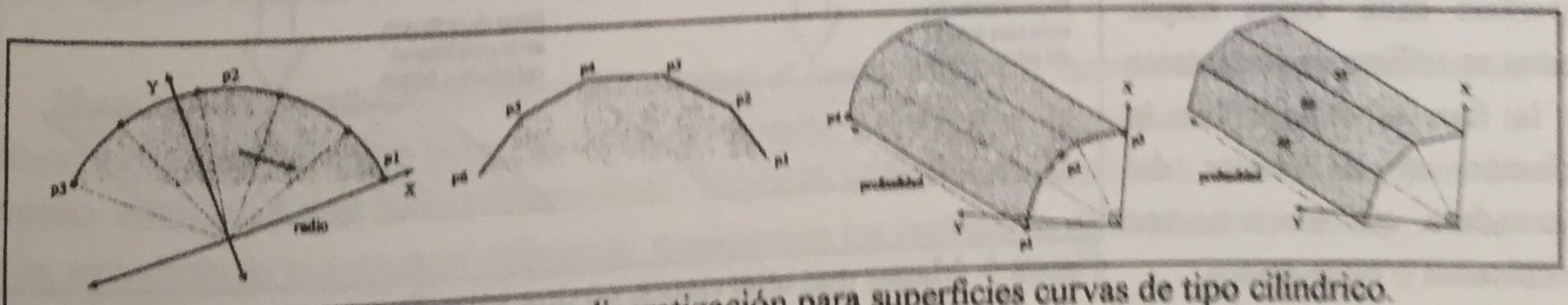


Figura 4. Ejemplo del proceso de prediscretización para superficies curvas de tipo cilíndrico.

- D. **Modelo de sombras entre cubiertas.** Obtiene los mapas de iluminación de cada superficie, tanto en su cara externa como interna y su evolución en el tiempo. De igual forma se calculan los efectos de la reflexión de la superficie en cuestión sobre el resto de las superficies afectadas por la misma.
- E. **Modelo de sombras de las estructuras internas del invernadero.** Evalúa las sombras producidas por las mallas de alambre externas e internas y los demás elementos sólidos de la estructura. Para este último caso, y al igual que el modelo C, se realiza la discretización en elementos finitos de aquellos elementos sólidos en contacto con superficies semicilíndricas o semiesféricas.
- F. **Modelo de cálculo de la transmisividad del material de cubierta.** Evalúa el comportamiento de la cubierta en cuanto a sus características físicas de reflexión, refracción y absorción. Existen varios submodelos alternativos (aplicados en función del tipo de plástico o resultados requeridos).
- G. **Modelo de cálculo de la radiación en el interior del invernadero.** Una vez calculada la intensidad y la dirección de la radiación que penetra en el invernadero, podemos seguir la evolución de la misma en su interior, evaluando cómo se refleja sobre las caras internas de la superficie y cómo es absorbida en el interior del invernadero, como consecuencia, entre otras, de la existencia de cultivo.

Gran parte de los submodelos descritos actualizan los mapas de iluminación de la superficie del invernadero que se esté tratando en cada instante. Así por ejemplo, para cada una de ellas, se calcula el estado del mapa de radiación, tanto en su cara externa como en la interna. Para llegar a estos mapas, el modelizador debe proceder continuamente a la superposición de diferentes mapas (ver Figura 5) que se actualizan en distintos ciclos de proceso para llegar a obtener la representación discretizada de la cara externa e interna de una superficie dada. Estos mapas finales se utilizan seguidamente en la fase de cálculo de la radiación en el interior del invernadero, que son a su vez modificados o regenerados.

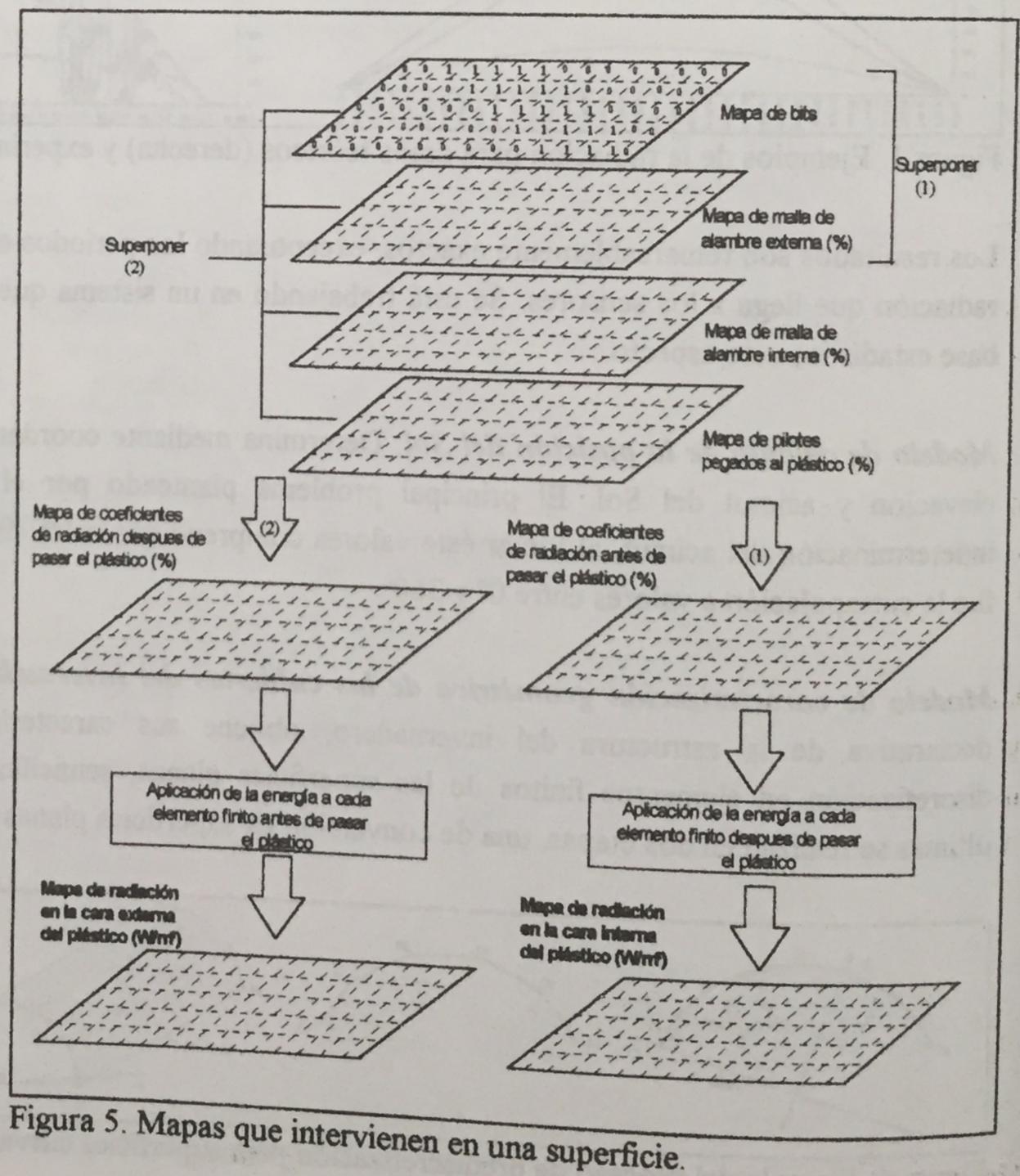


Figura 5. Mapas que intervienen en una superficie.

#### 4. CONCLUSIONES

Del trabajo desarrollado se extraen las siguientes conclusiones generales relativas a la *aplicación de la arquitectura multimodelo distribuida* en la simulación de sistemas complejos:

- La arquitectura propuesta para simulación multimodelo ha demostrado ser flexible y potente.
- Se han podido integrar sin problemas nuevos modelos alternativos o mejorar de forma optativa los originales sin problemas.
- Se han podido incorporar modelos previos (elaborando una interfaz y sistema de control propios) como submodelos integrados en la herramienta global (utilizando a veces herramientas comerciales externas).
- La arquitectura multimodelo es general, siendo aplicable a otros campos de la simulación.

En relación con la herramienta DAMOCIA-Sim, esta ha dado los resultados previstos. A continuación se muestra parte de los resultados de un caso ejemplo. En este se ha considerado un invernadero vacío de tipo INACRAL evaluando su comportamiento a las 13:09 del día 21 de Junio. El tamaño de los elementos finitos es de  $0,5 \times 0,5$  m. Las entradas del submodelo de comportamiento del plástico son: 0,18 mm de grosor, coeficiente de refracción 1,51 y coeficiente de absorción 10. Los resultados del submodelo de radiación exterior son: radiación global  $1014,55 \text{ W/m}^2$ , radiación difusa  $166,59 \text{ W/m}^2$  y radiación directa  $847,96 \text{ W/m}^2$ . El submodelo de radiación en el interior genera una proyección de las diferentes superficies externas iluminadas sobre la cara interna del resto de las superficies. El resultado final es un mapa de la radiación incidente sobre cada elemento finito.

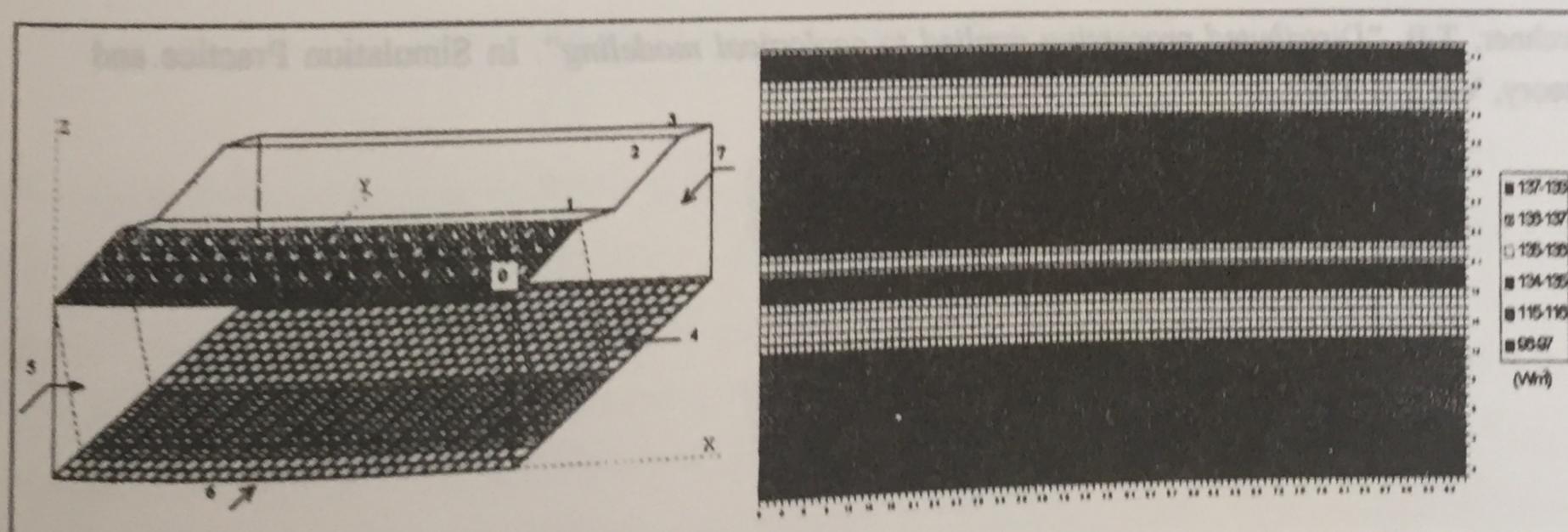


Figura 6. Ejemplo de mapa de radiación generado por la combinación de submodelos en una superficie

Hasta ahora, cuando se ha pretendido evaluar el comportamiento agronómico de una determinada estructura de invernadero, ha sido necesario construirla y evaluarla experimentalmente. Mediante la herramienta informática que hemos desarrollado, se puede evaluar, en una primera aproximación, en una cualquier estructura de invernadero definiendo simplemente los parámetros de diseño de la misma.

## 5. TRABAJOS FUTUROS

En cuanto a los trabajos futuros (a nivel de la arquitectura o del simulador DAMOCIA-Sim) que se están estudiando, son de destacar los siguientes:

- a) Definir un lenguaje formal que sirva para expresar la relación entre los distintos submodelos de un sistema multimodelo construido según la arquitectura propuesta.
- b) Extender el ámbito de la simulación, modelizando otras variables climáticas, como pueden ser la temperatura, la humedad, etc. o aplicándolo a otros tipos de estructuras o utilidades.
- c) Desarrollar nuevos modelos matemáticos para conseguir resultados más exactos en el cálculo.

## 6. REFERENCIAS

- (1) Bienvenido, J.F. et al. "*DAMOCIA-SIM, a Generic Tool For Radiation Simulation Into Mild Winter Region Greenhouses*". Efitá'97. Copenhage, 1997.
- (2) Baille, A. & Baille, M. (1990). "*A Simple Model for the Estimation of Greenhouse Transmission: Influence of Structures and Internal Equipment*". Act. Hort. Greenhouse construction, Design, 281: 35-46.
- (3) Bot, X. "*Greenhouse Climate: From Physical Processes to a Dynamic Model*". Wageningen, 1983.
- (4) Guida, G. and Zanella, M. "*Knowledge-based design using the multi-modeling approach*". In Second Generation Expert Systems, J.M. David, J.P. Krivine and R. Simmons (eds), Springer-Verlag, 1993.
- (5) Kurihara, S., Aoyagi, S., Onai, R. "*Adaptative Selection of Reactive/Deliberate Planning for the Dynamic Environment*". In Multi-Agent Rationality, Boman and Van de Welde (eds), Springer-Verlag, 1997.
- (6) Kirchner, T.B. "*Distributed processing applied to ecological modeling*". In Simulation Practice and Theory, Vol 5-1, 1997.

**ACTAS**  
**X Simposio Internacional en**  
**Aplicaciones de Informática**

**PROCEEDINGS**  
**X International Symposium**  
**in Informatics Applications**

**Antofagasta, Chile**  
**27 de Octubre al 31 de Octubre, 1997**  
**October 27 to October 31, 1997**

ACTAS  
X Simposio Internacional en  
Aplicaciones de Informática

PROCEEDINGS  
X International Symposium  
in Informatics Applications

**Comité Editorial / Editorial Committee:**

Carlos Pon Soto, Universidad Católica del Norte (Presidente)

**Copias Adicionales / Additional Copies:**

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación  
Universidad Católica del Norte  
Casilla 1280, Antofagasta, Chile

Teléfono : (56 - 55) 241148 Anexo 201

Fax : (56 - 55) 248476

E\_mail : [infonor@socompa.cecun.ucn.cl](mailto:infonor@socompa.cecun.ucn.cl)

Internet : <http://www.ucn.cl/infonor>



# INFONOR'97

27 al 31 de Octubre de 1997

**X SIMPOSIO  
INTERNACIONAL  
EN APLICACIONES  
DE INFORMATICA**

