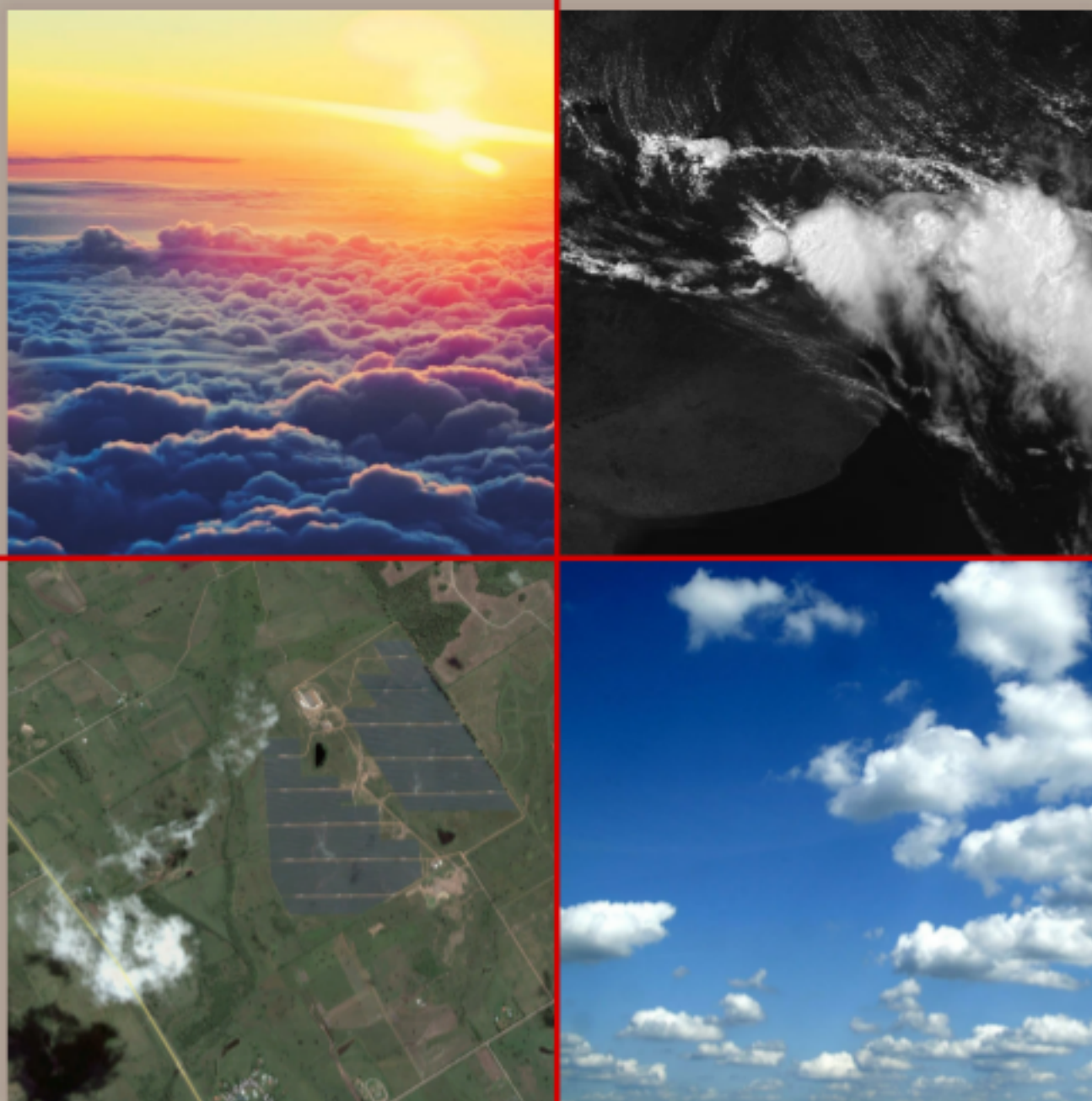


PRONÓSTICO DE LA GENERACIÓN PV

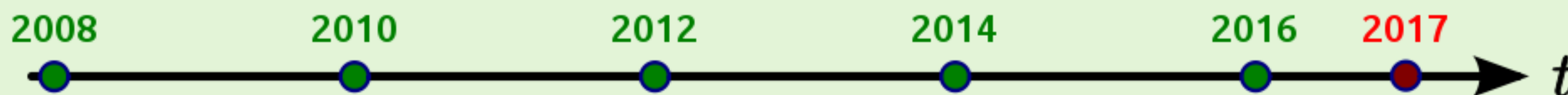


En camino hacia un sistema de pronóstico de la irradiación solar y la generación PV

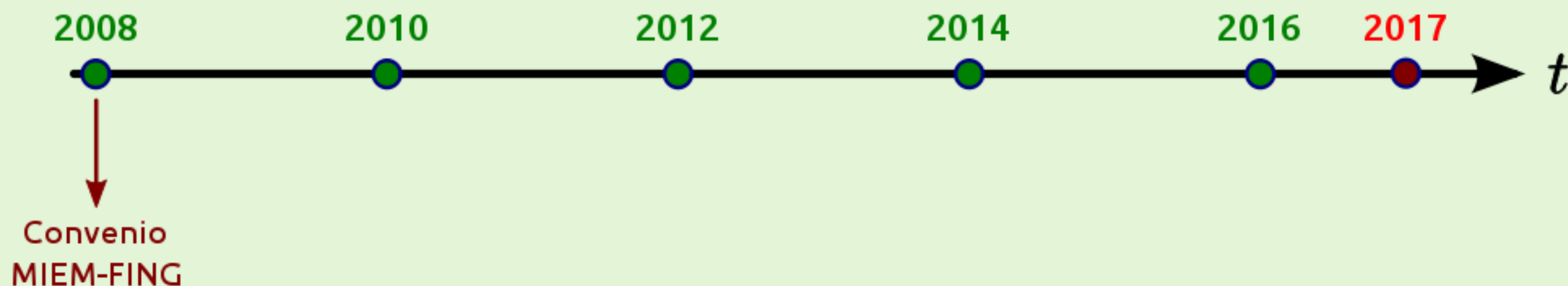


INTRODUCCIÓN

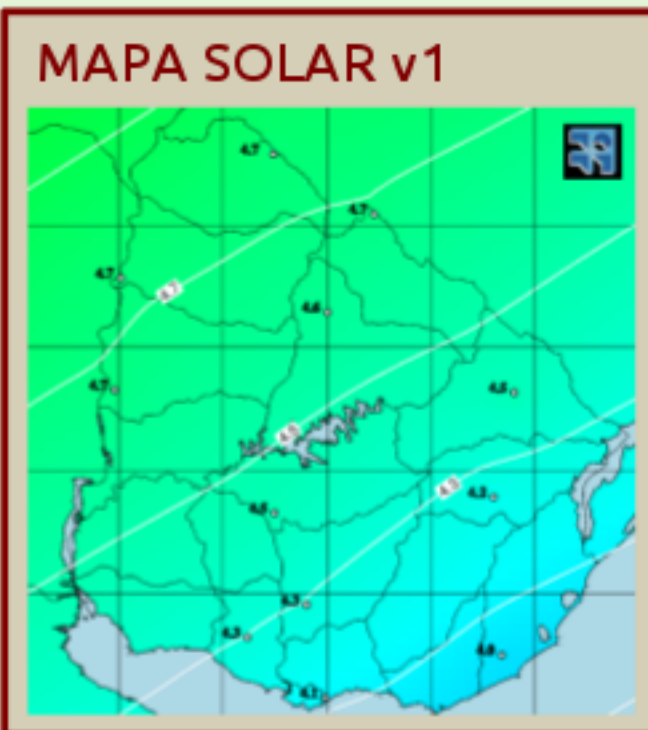
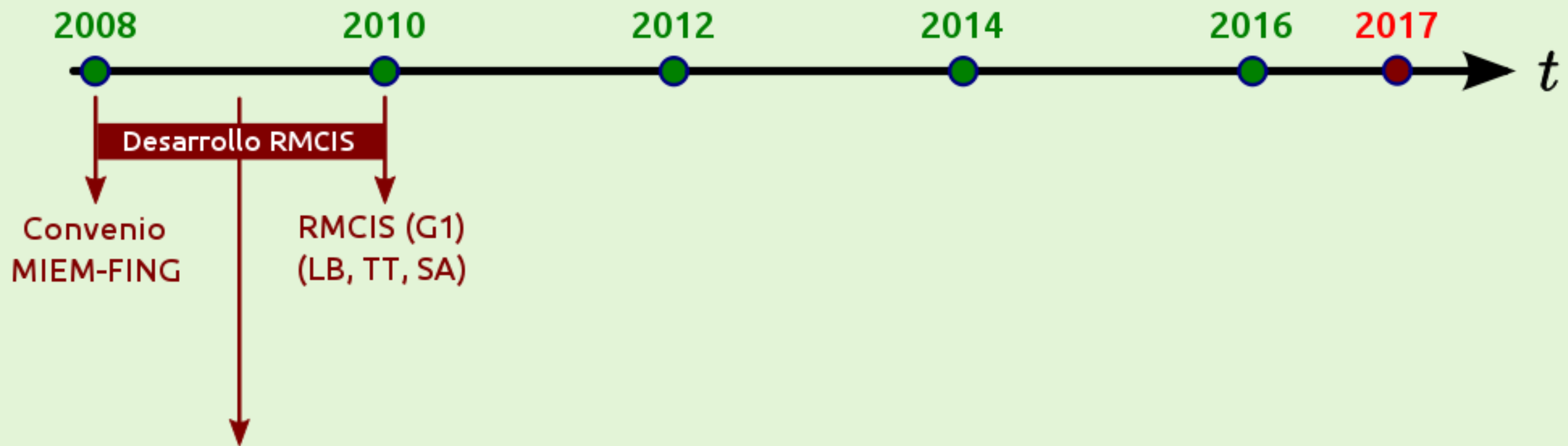
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



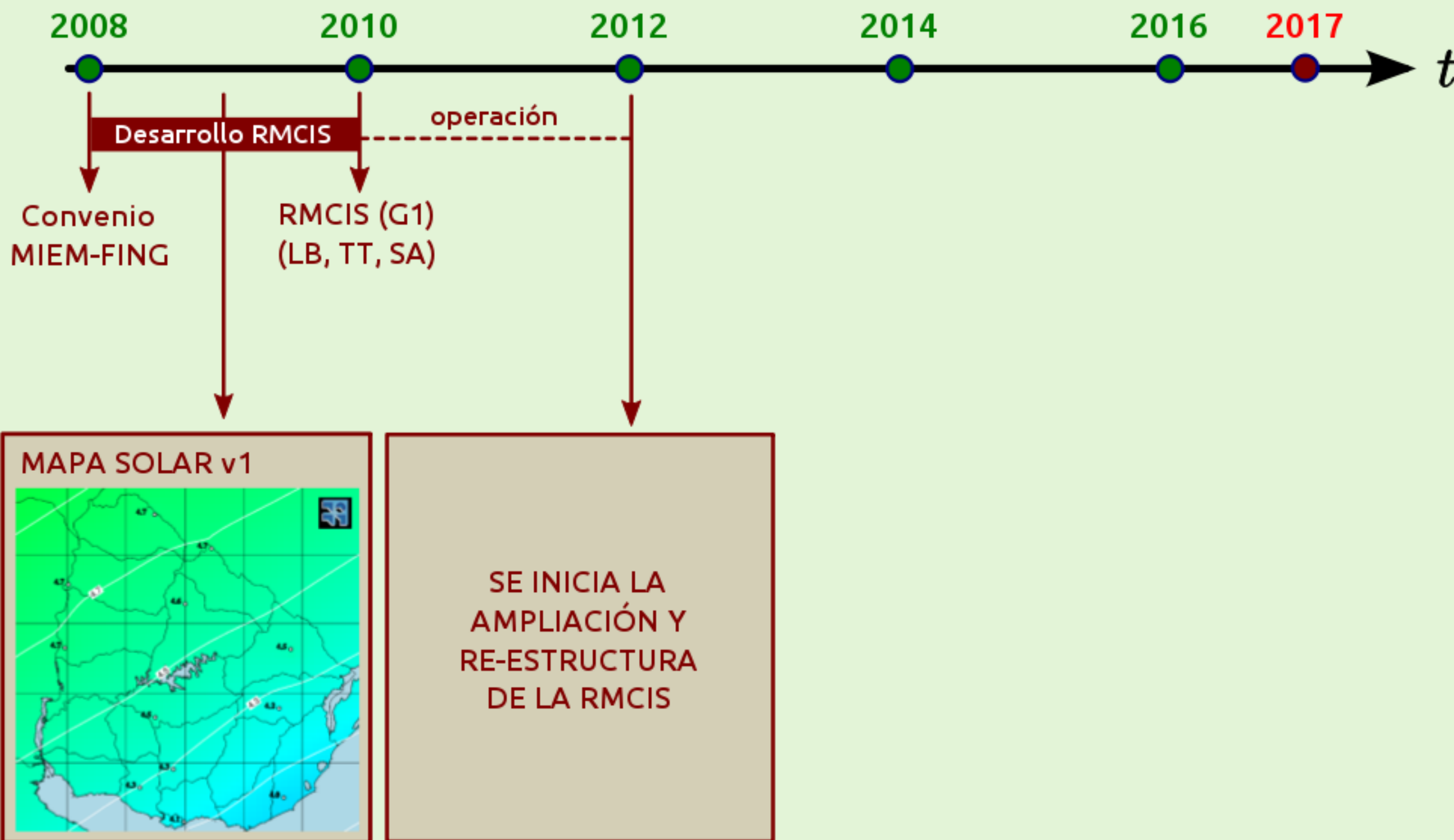
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



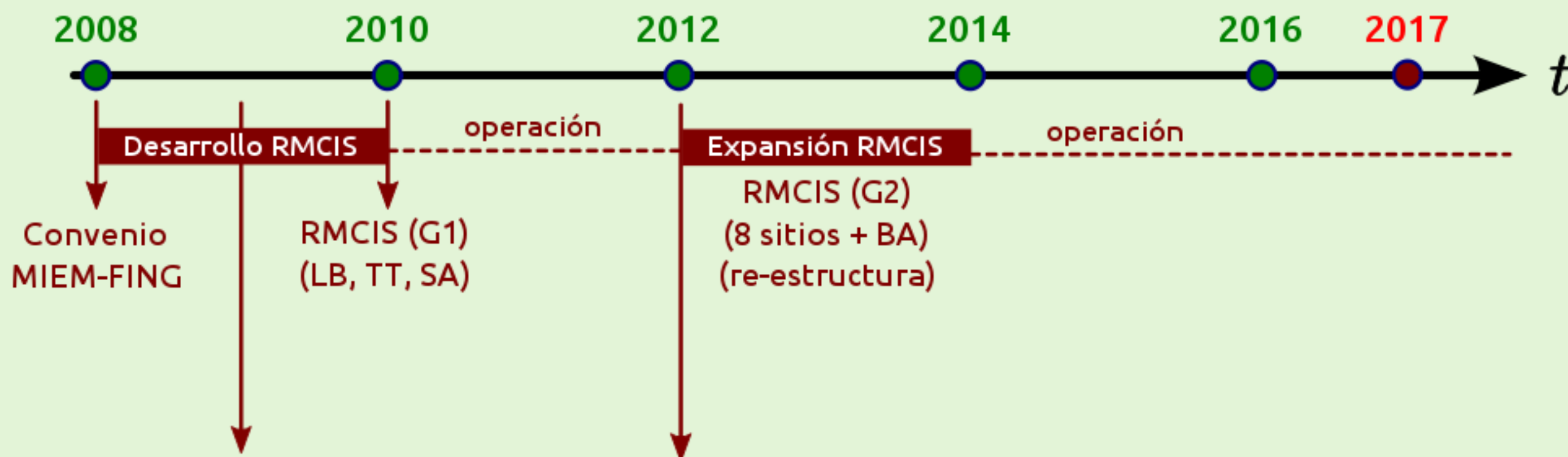
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



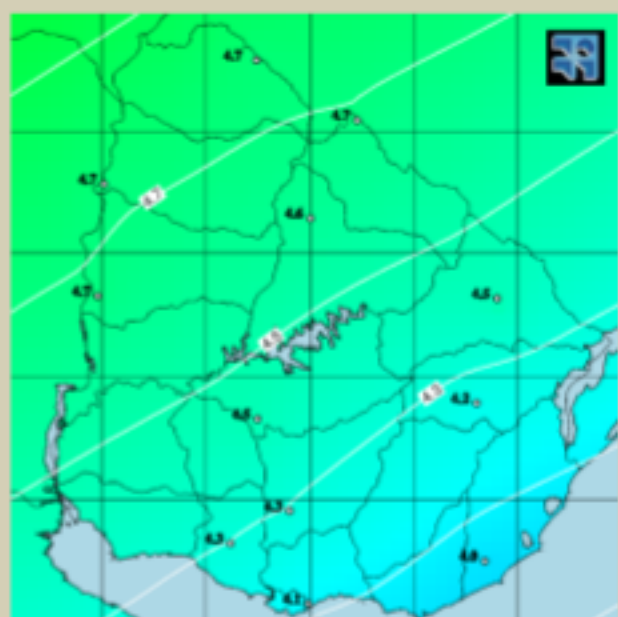
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



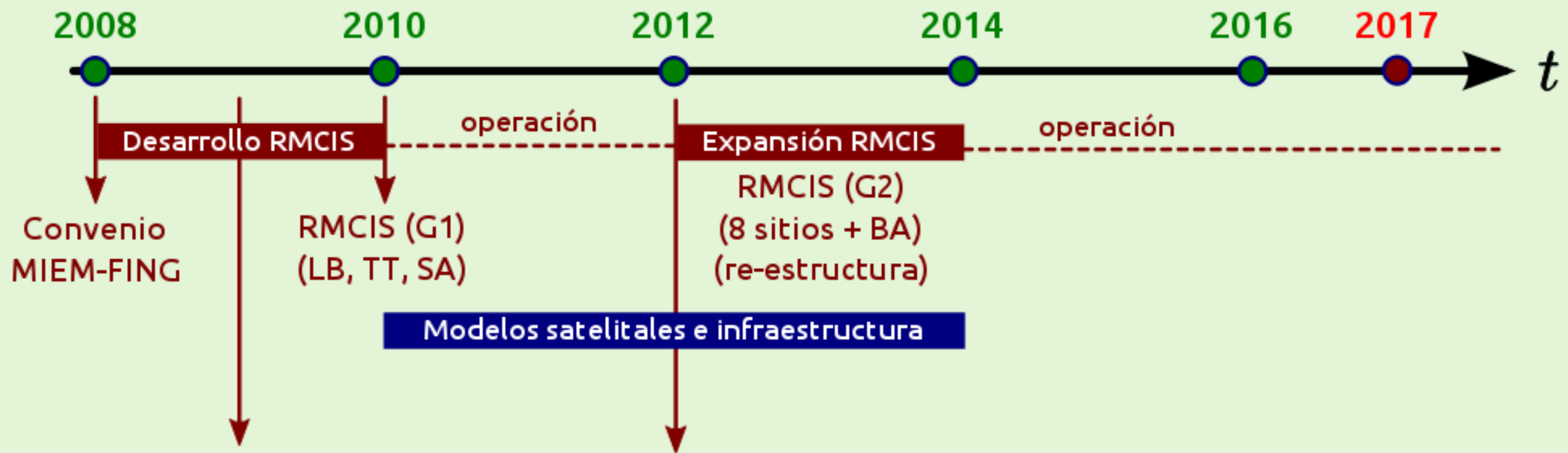
MAPA SOLAR v1



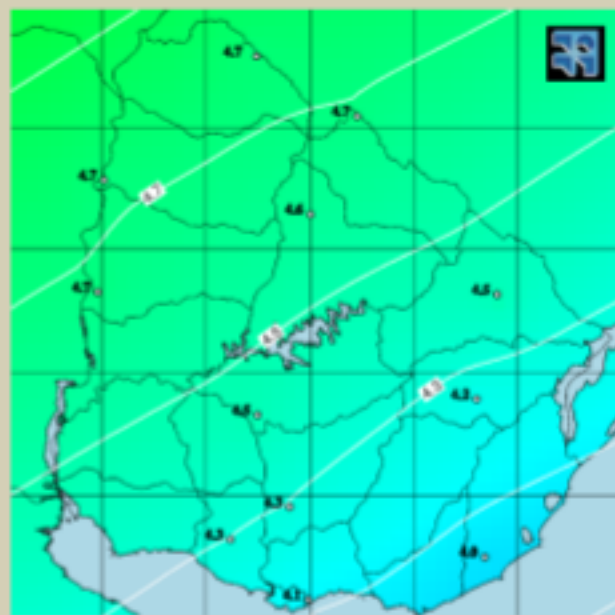
RMCIS actual



BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



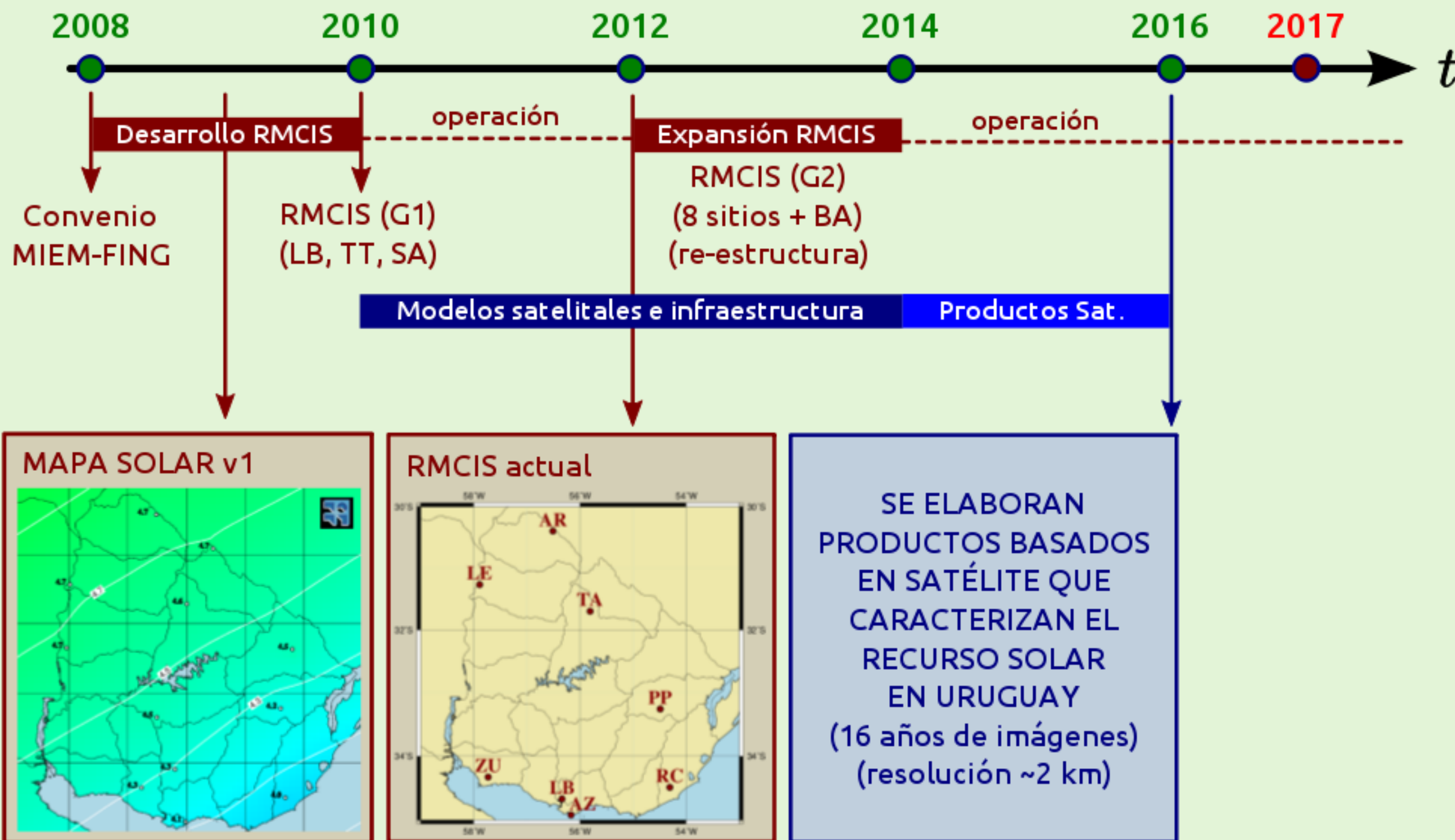
MAPA SOLAR v1



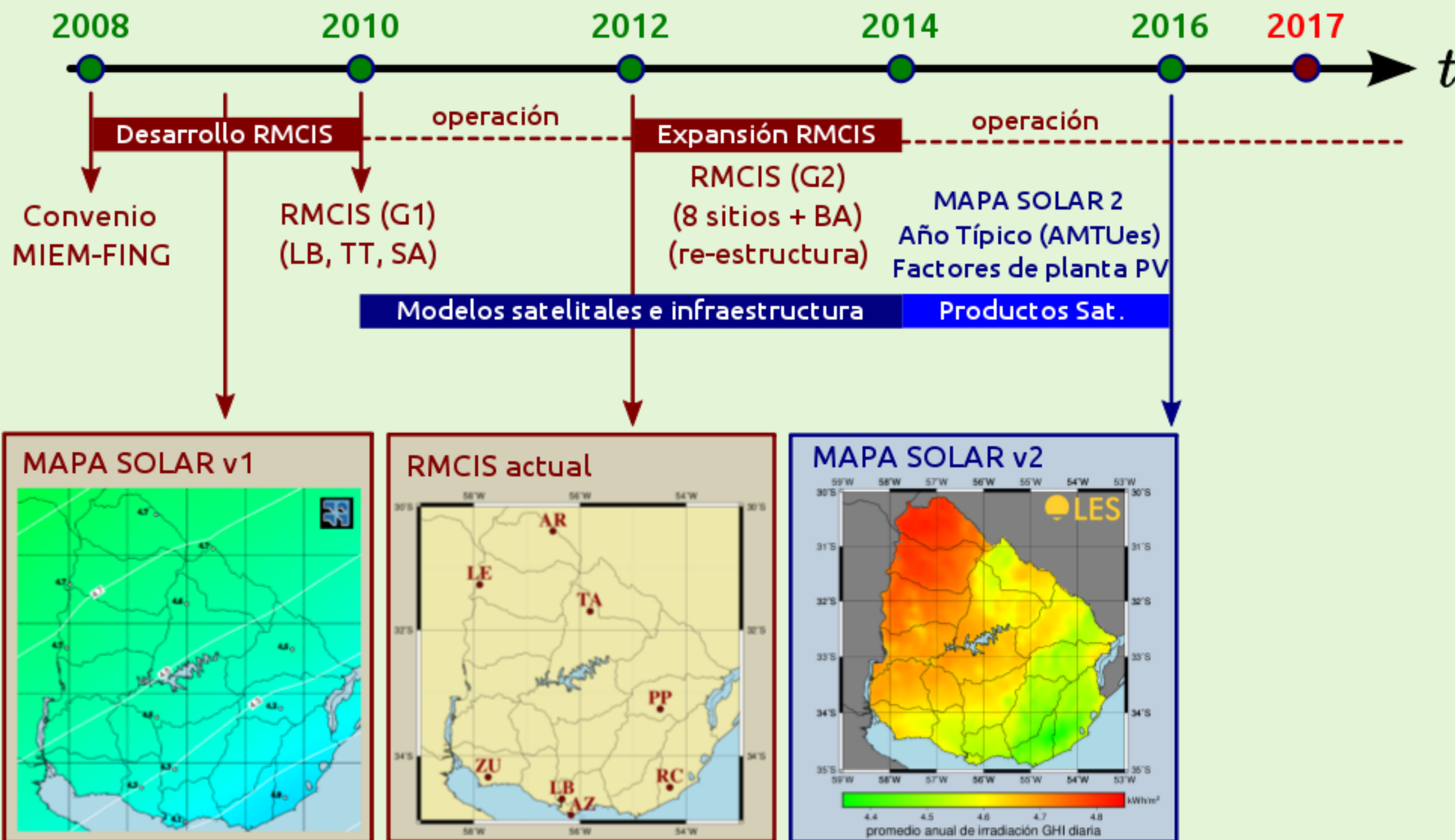
RMCIS actual



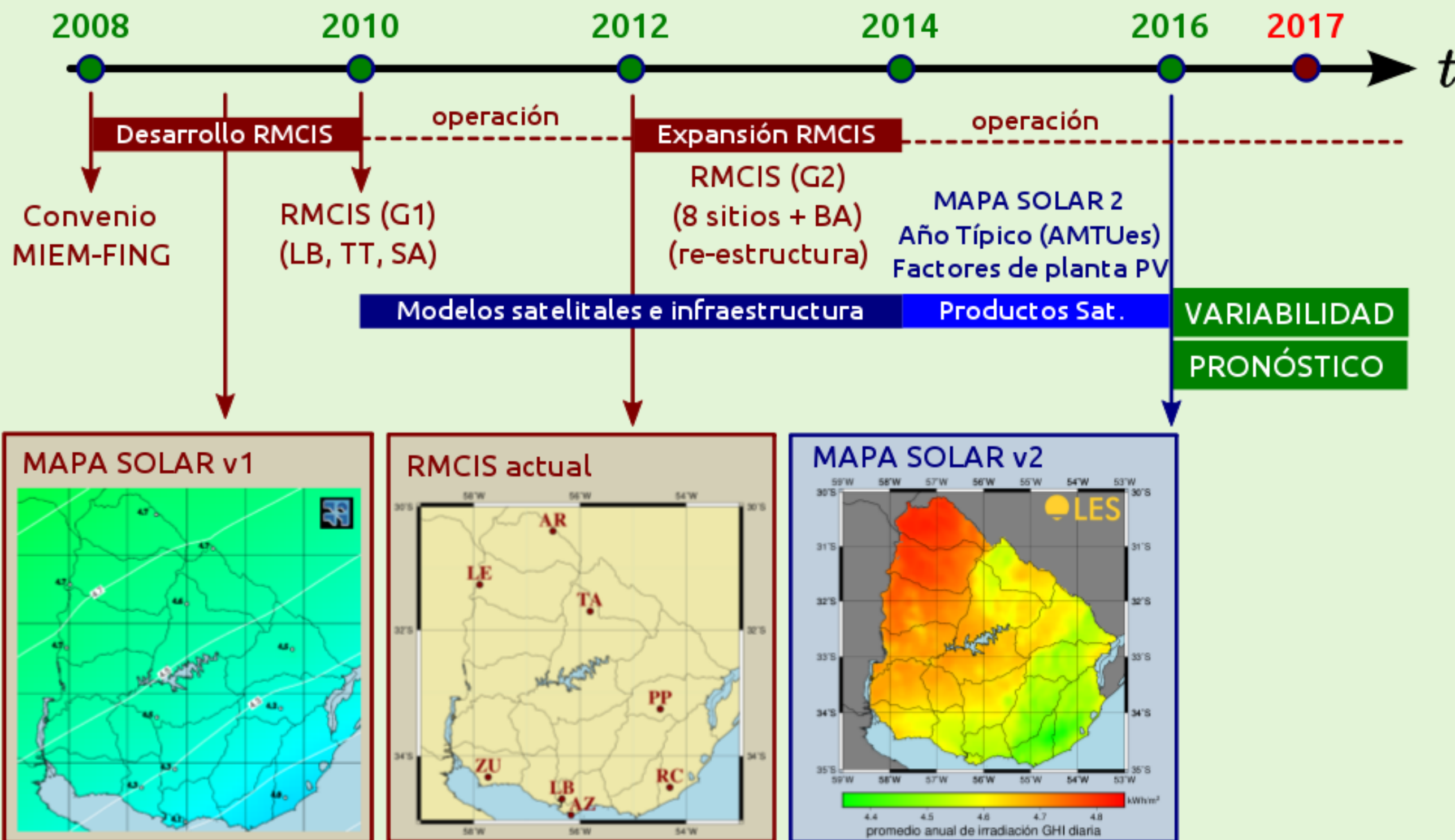
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



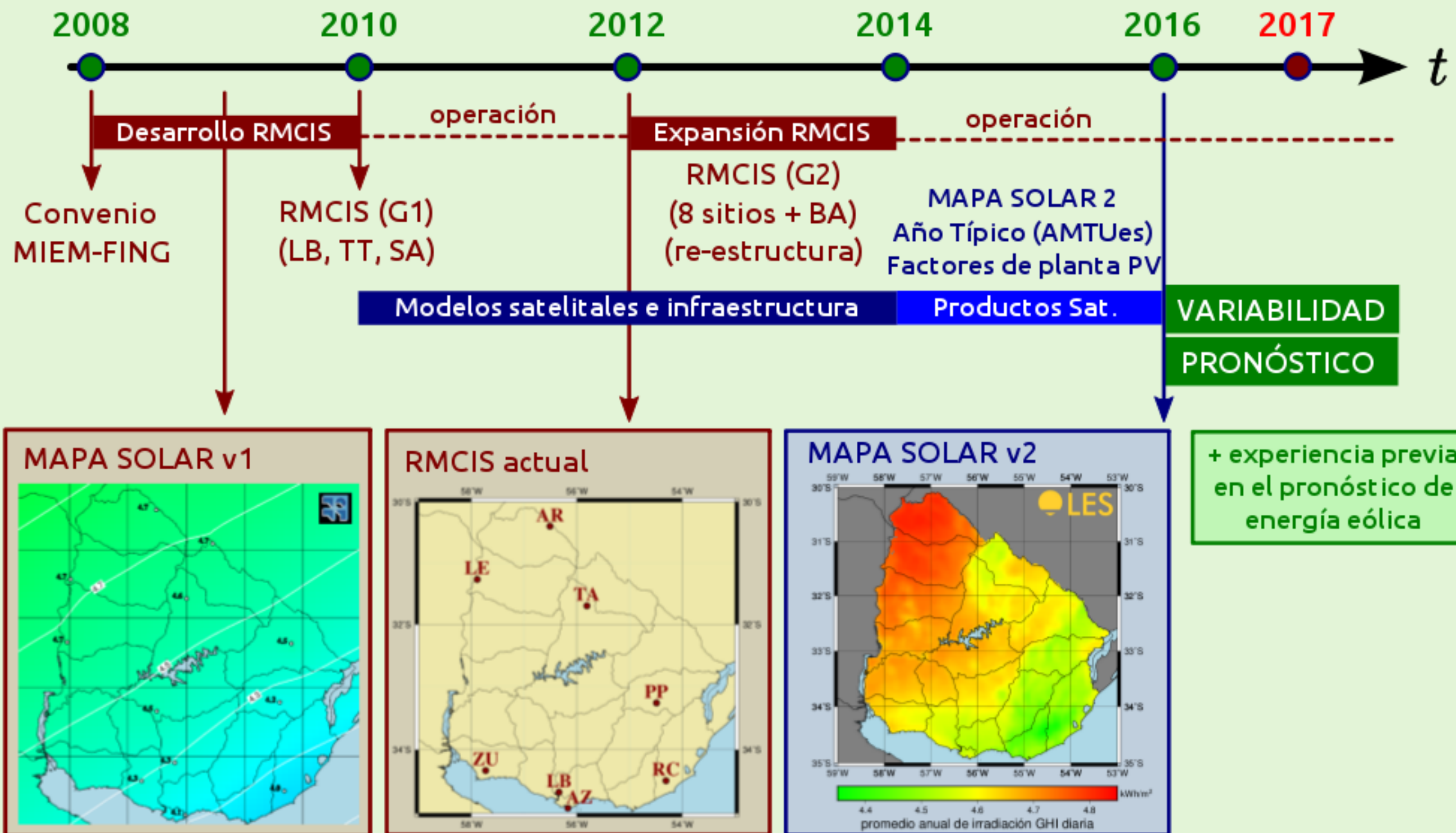
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



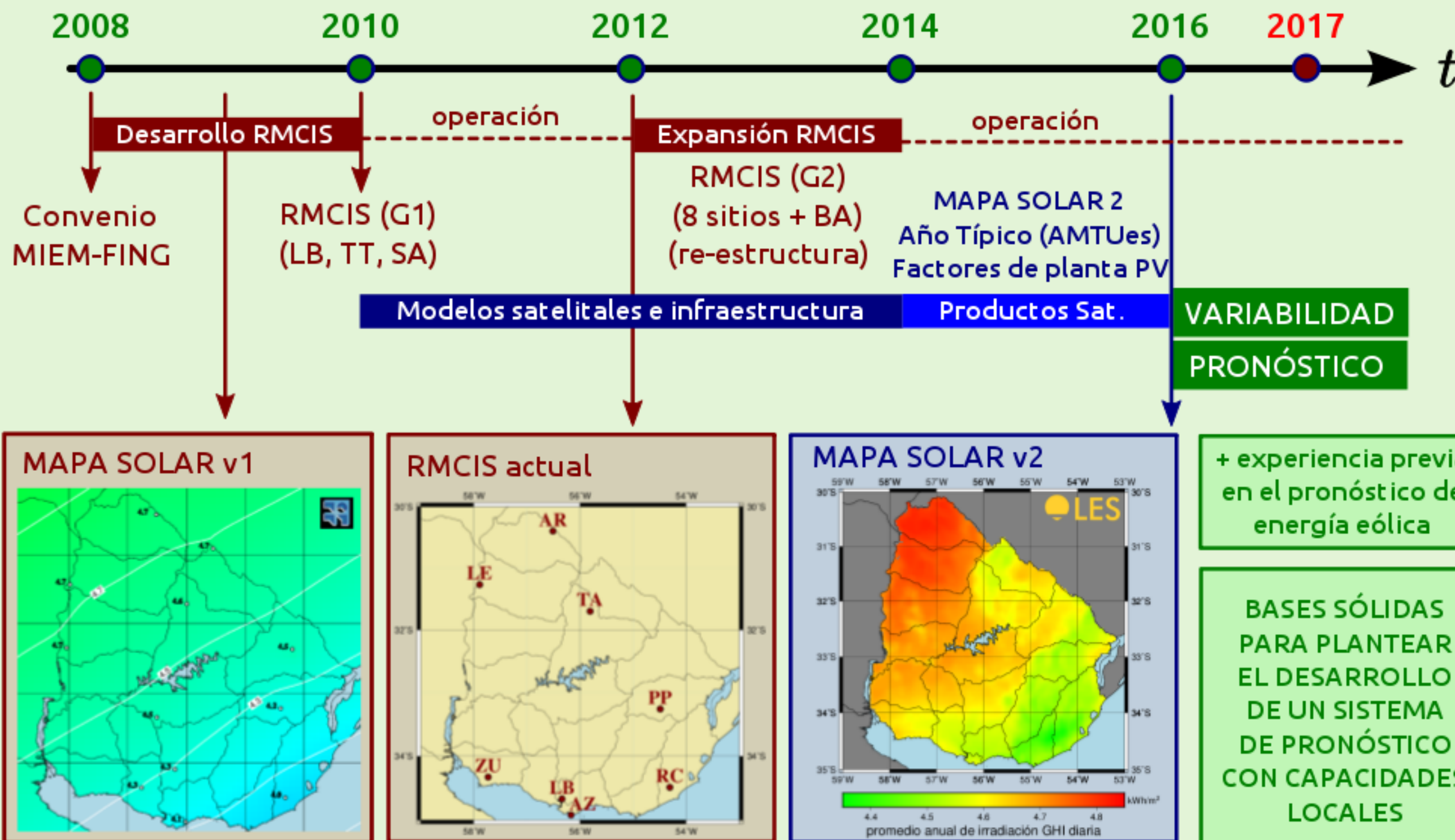
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



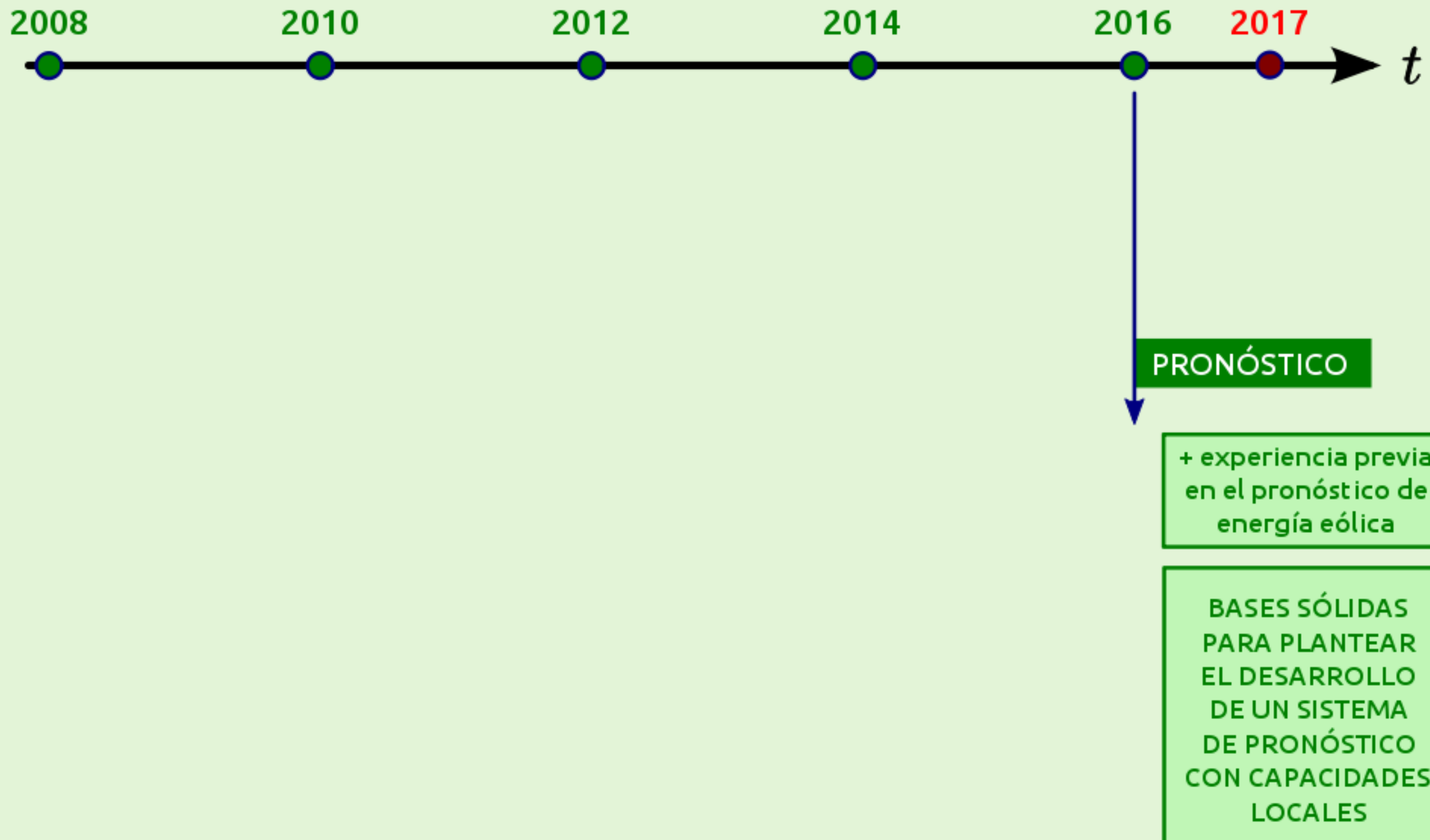
BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)

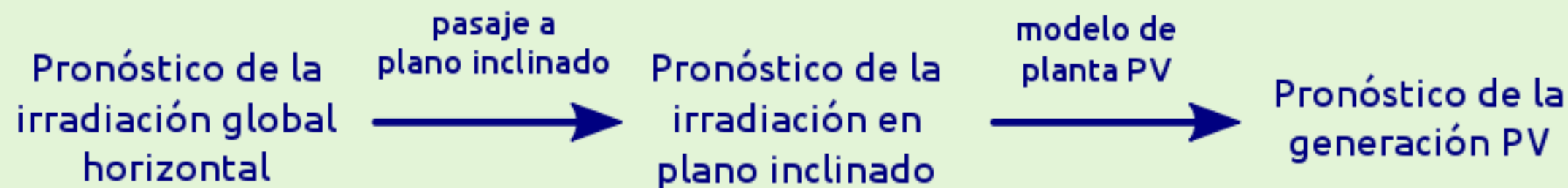


BREVE CRONOLOGÍA EN RECURSO SOLAR (Uruguay)



TÉCNICAS DE PRONÓSTICO

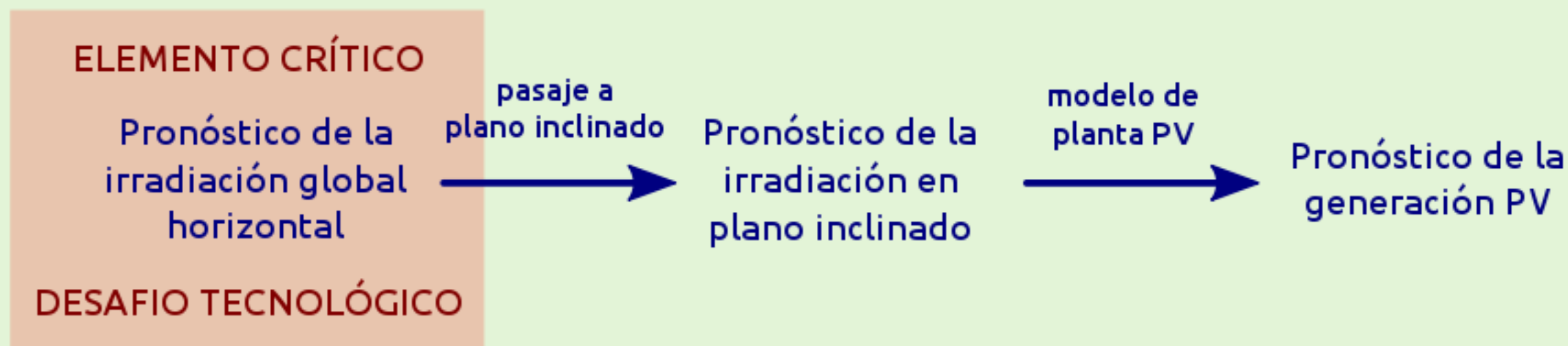
¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



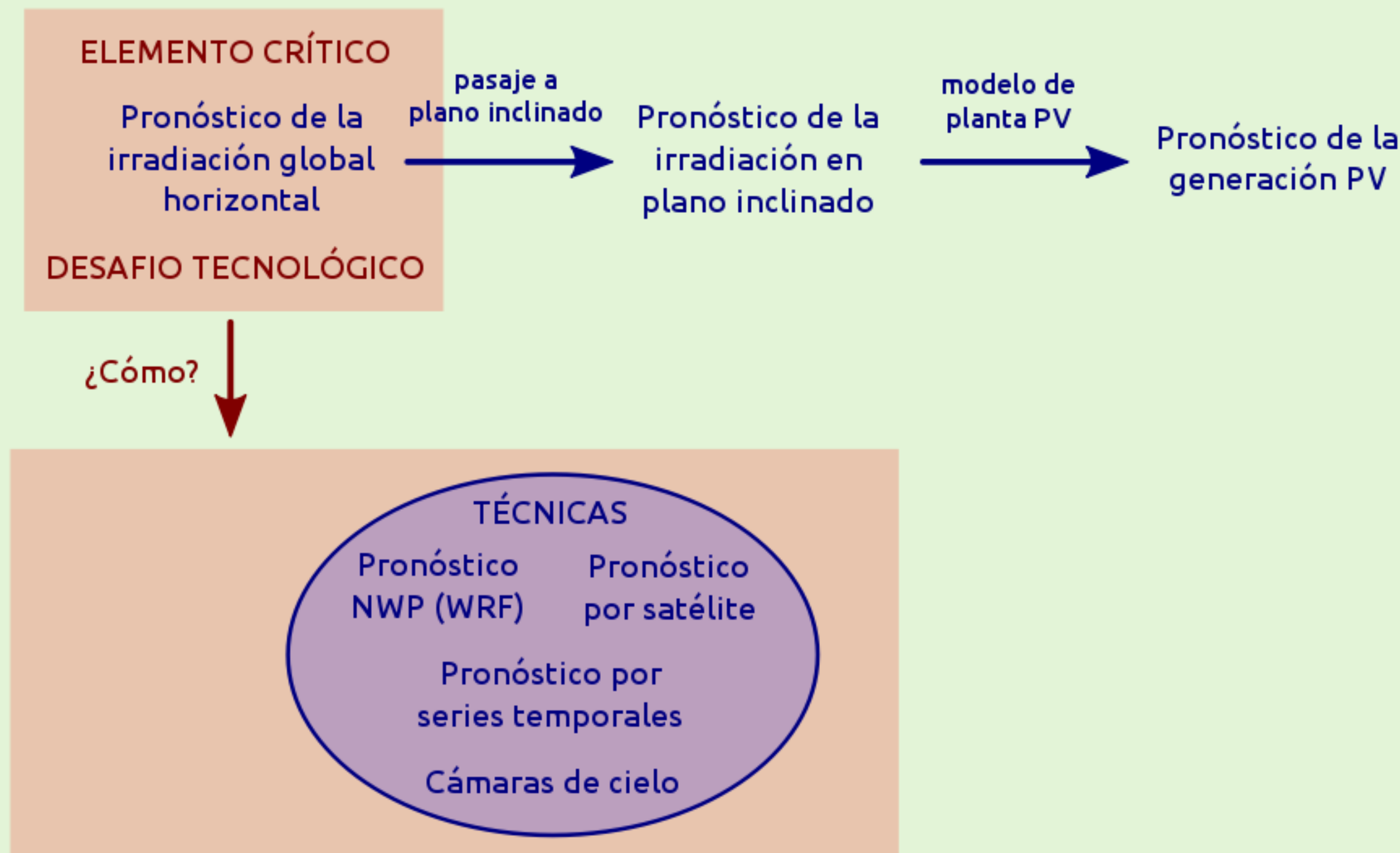
¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



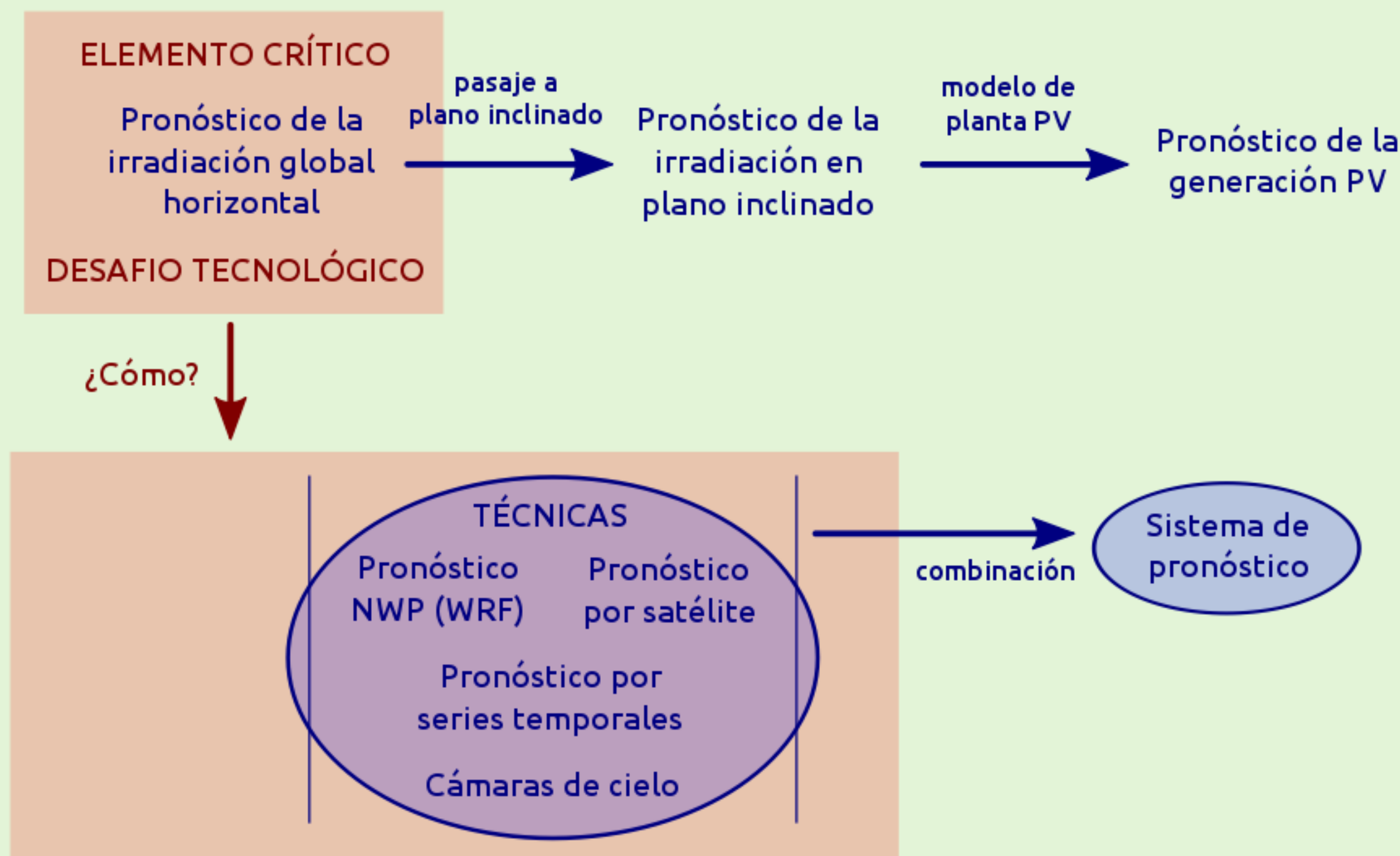
¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



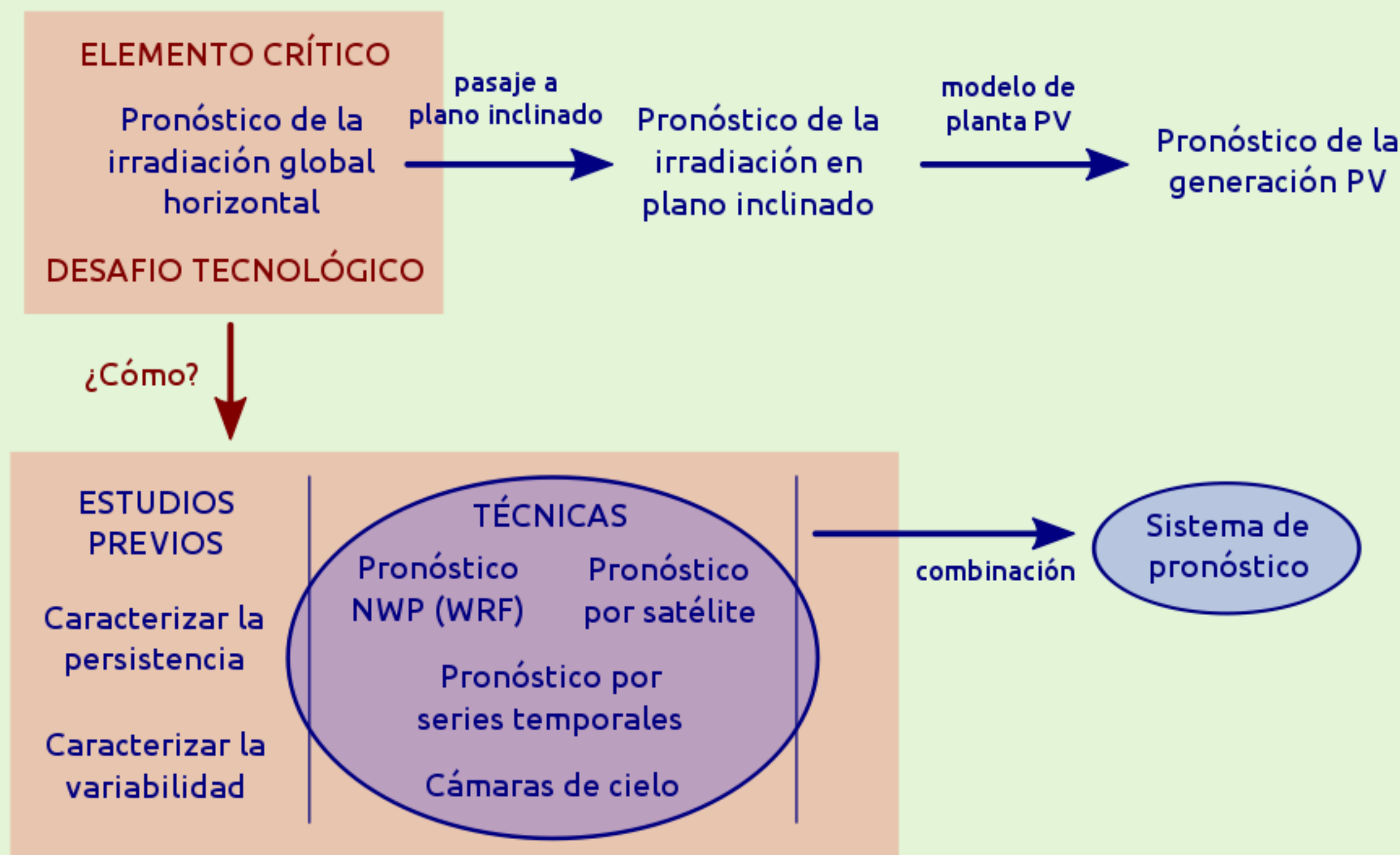
¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?



¿Cómo se pronostica la irradiación solar y la generación PV?

ELEMENTO CRÍTICO

Pronóstico de la irradiación global horizontal

DESAFIO TECNOLÓGICO

¿Cómo?

EQUIPO DE TRABAJO:

NWP: A. Gutierrez, C. Porrini, G. Cazes, V. Teixeira, E. Almeida.

Satélite: D. Aicardi, P. Musé, M. Roubaud, R. Alonso-Suárez.

All-Sky: M. Caldas.

Variabilidad y persistencia: G. Giacosa, R. Alonso-Suárez.

Series temporales: -- sin desarrollo aún --

Coordinación: R. Alonso-Suárez (p/ LES-UdelaR)

ESTUDIOS PREVIOS

Caracterizar la persistencia

Caracterizar la variabilidad

TÉCNICAS

Pronóstico NWP (WRF)

Pronóstico por satélite

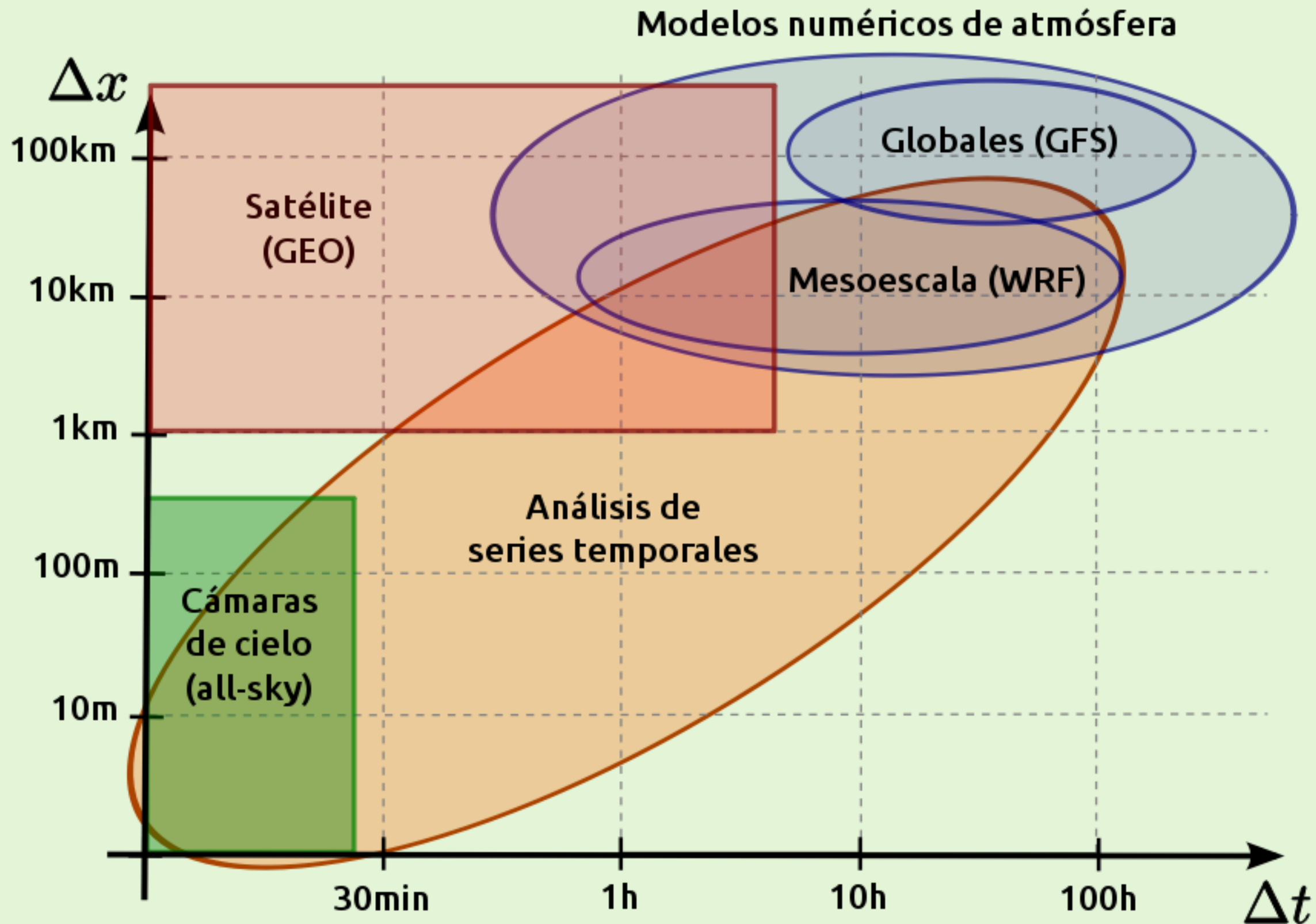
Pronóstico por series temporales

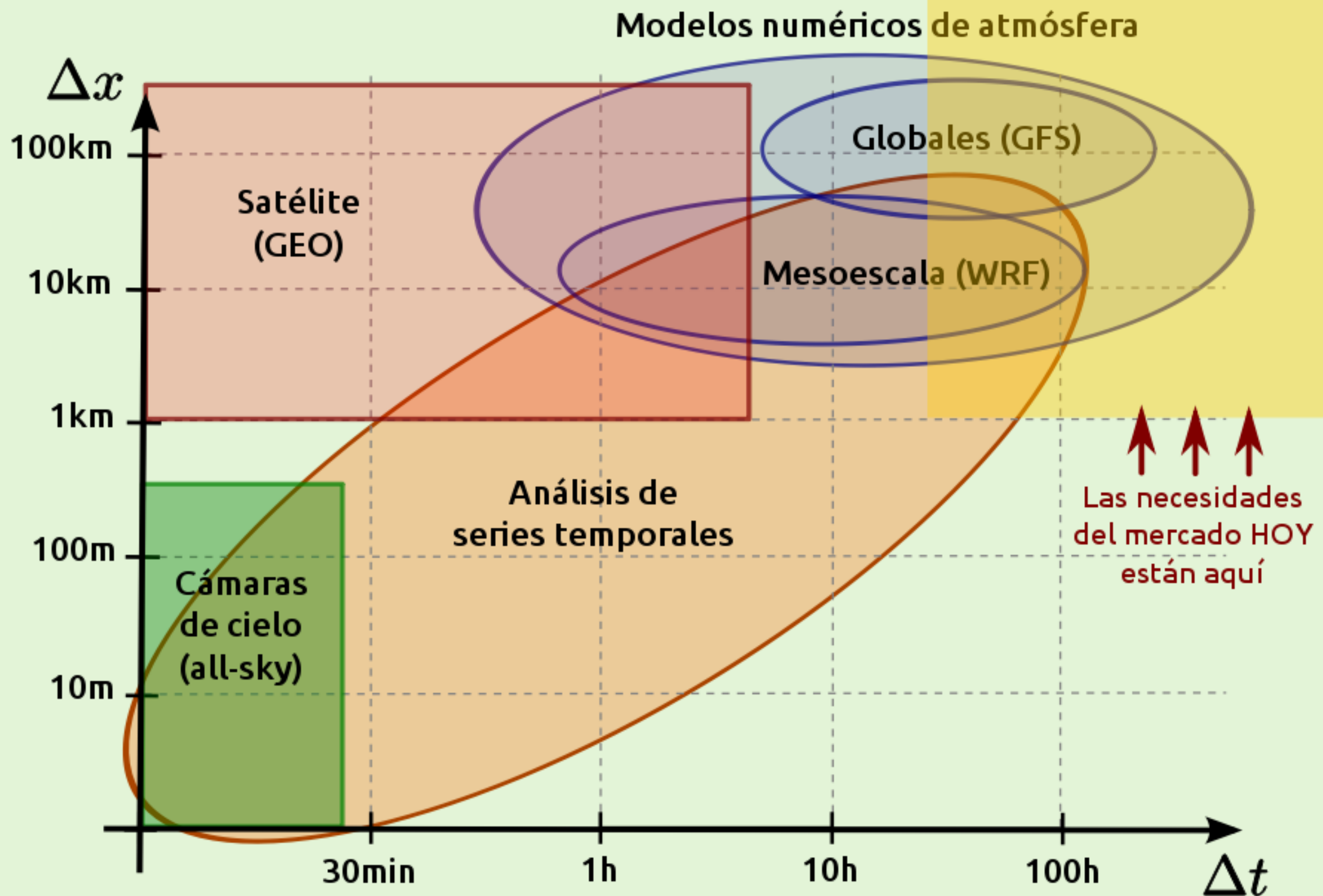
Cámaras de cielo

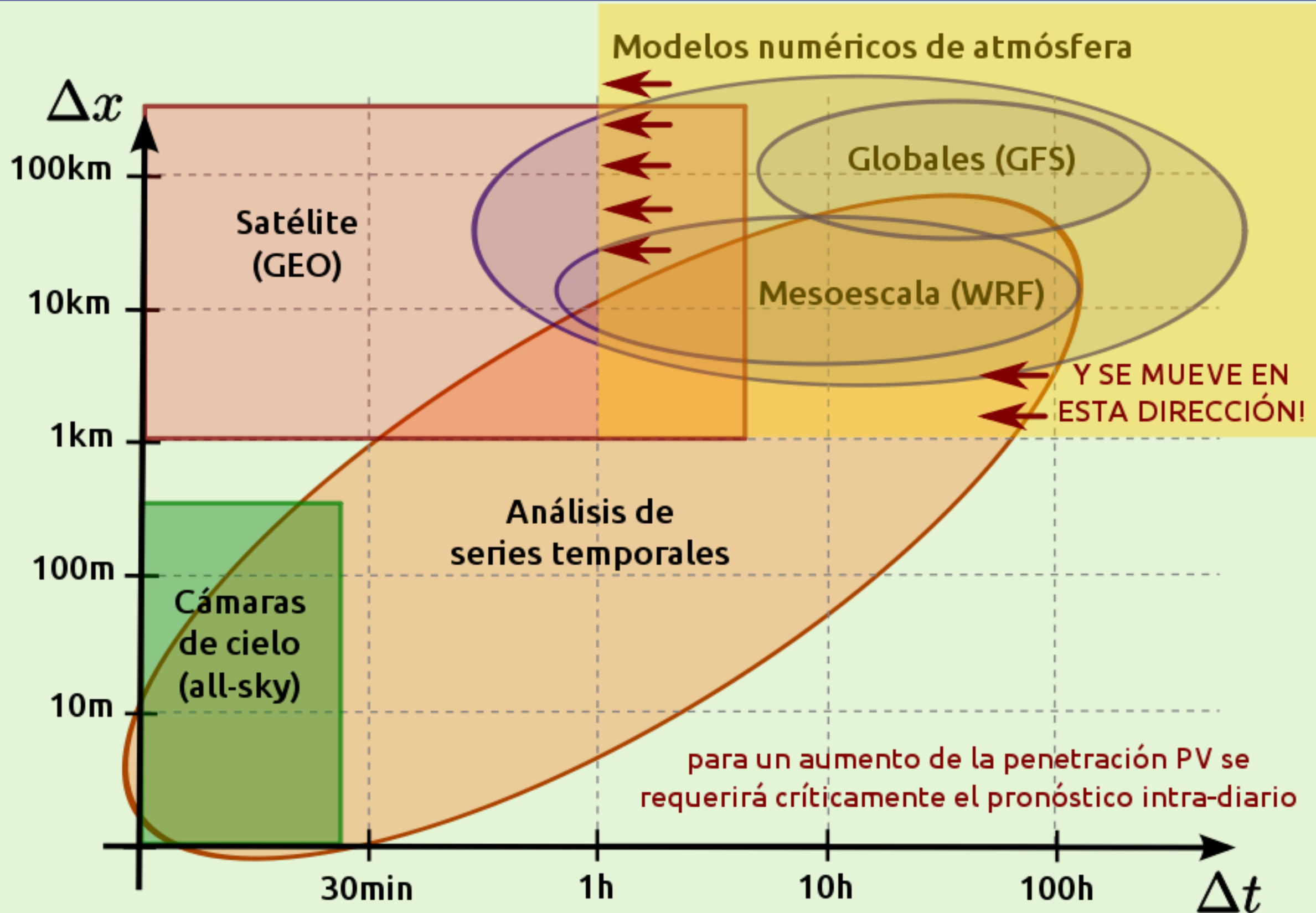
combinación

Sistema de pronóstico

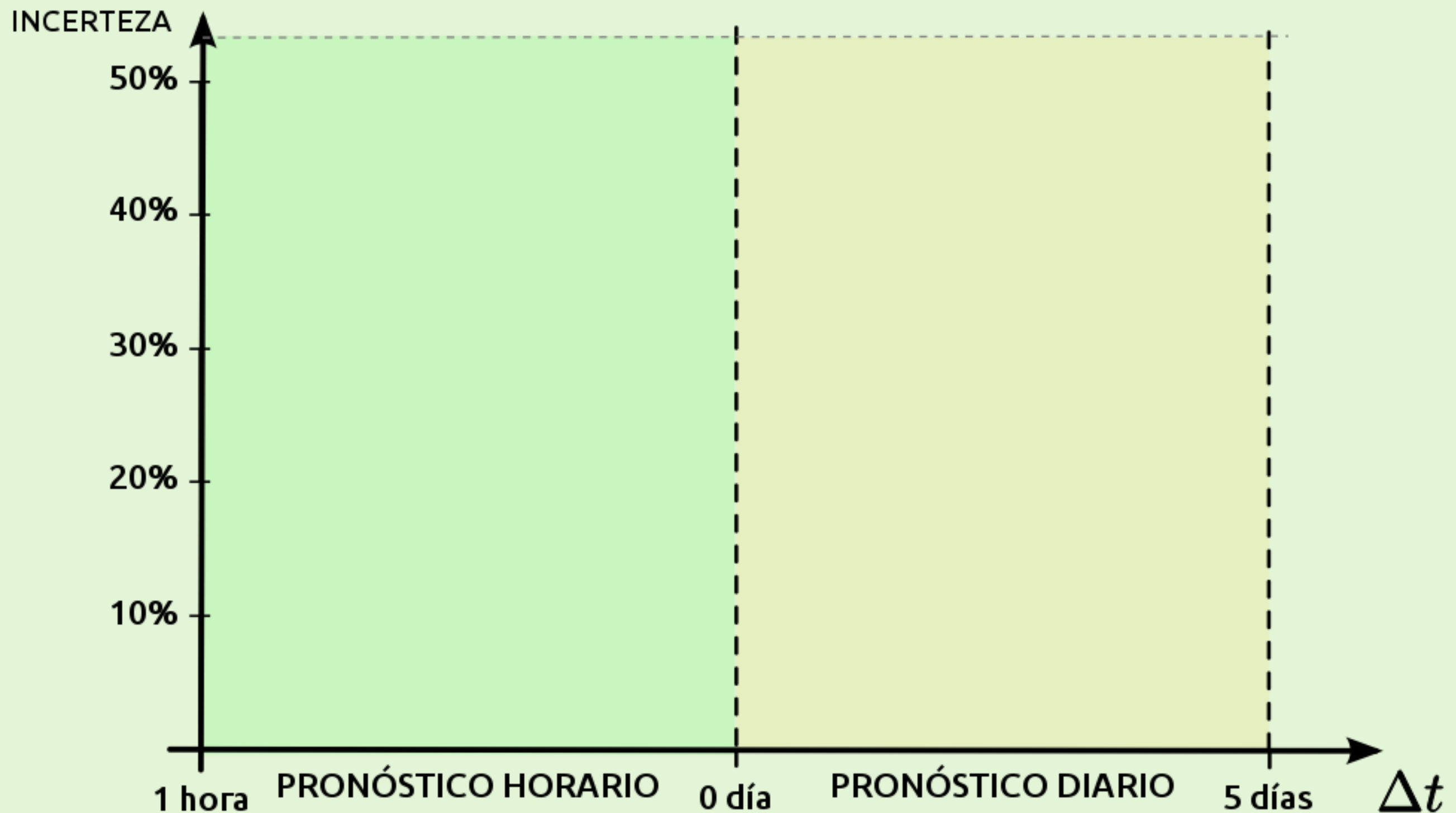




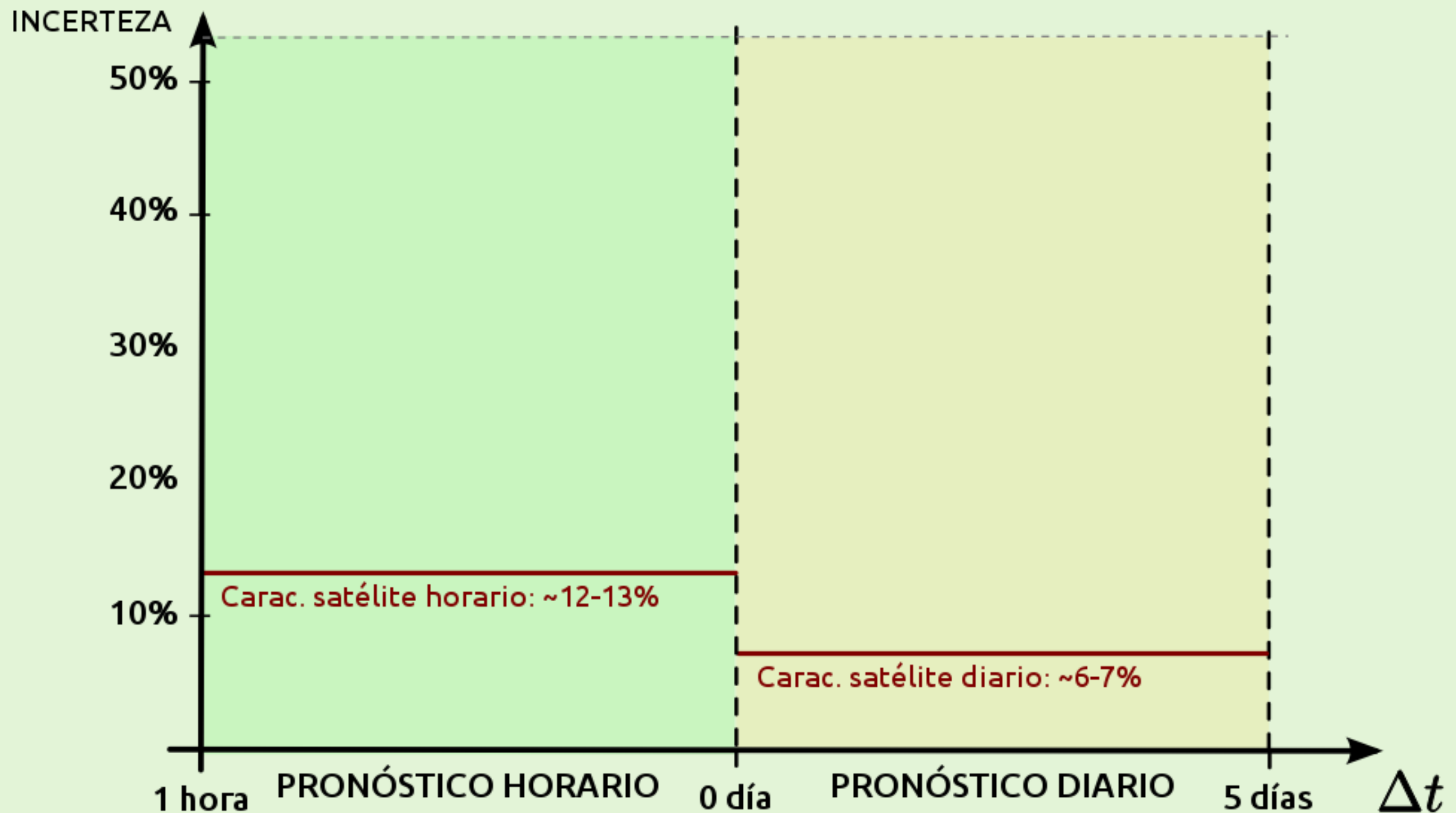




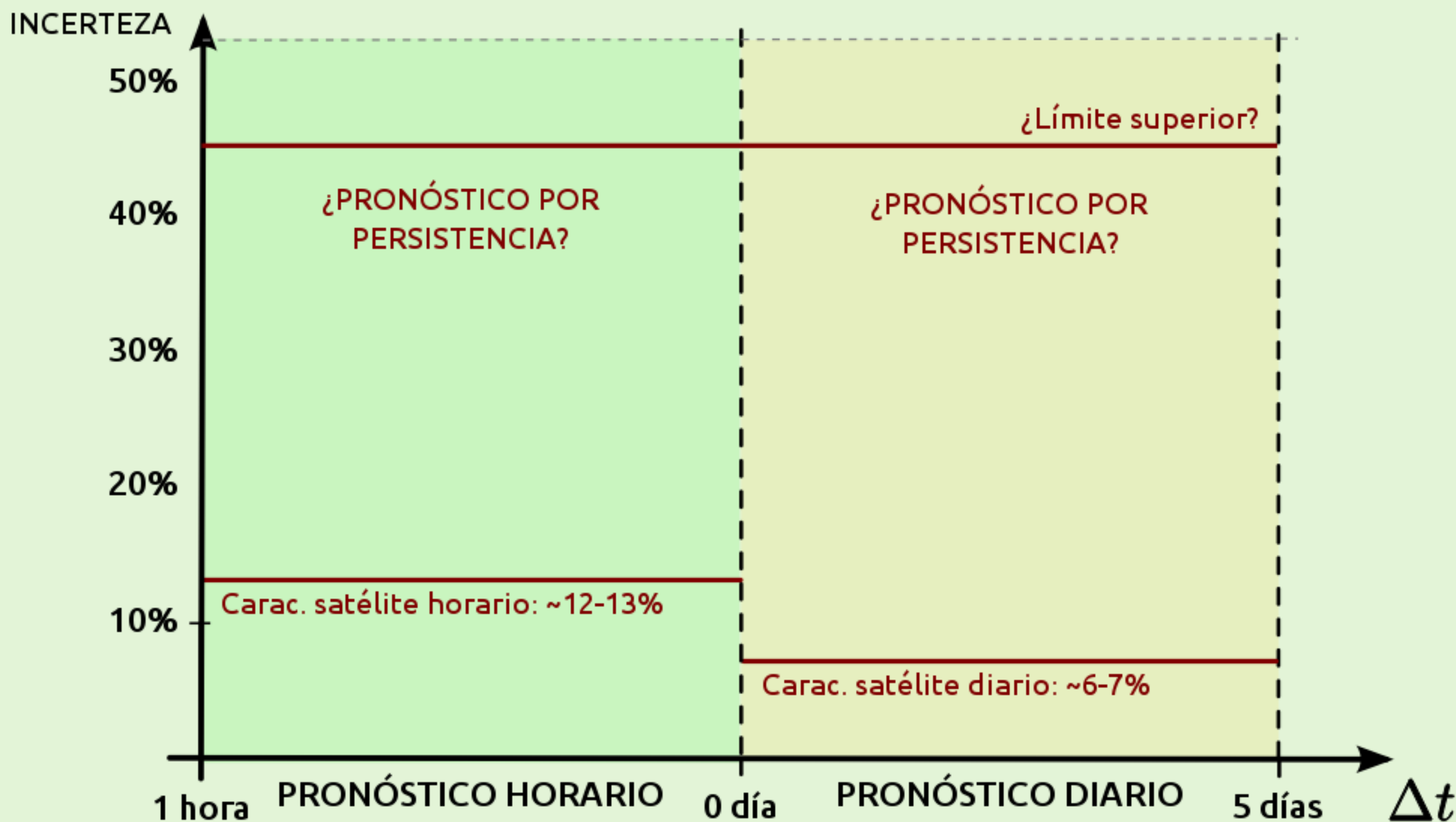
FOCO: PRONÓSTICO DIARIO Y HORARIO



FOCO: PRONÓSTICO DIARIO Y HORARIO



FOCO: PRONÓSTICO DIARIO Y HORARIO



PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las
escalas temporales

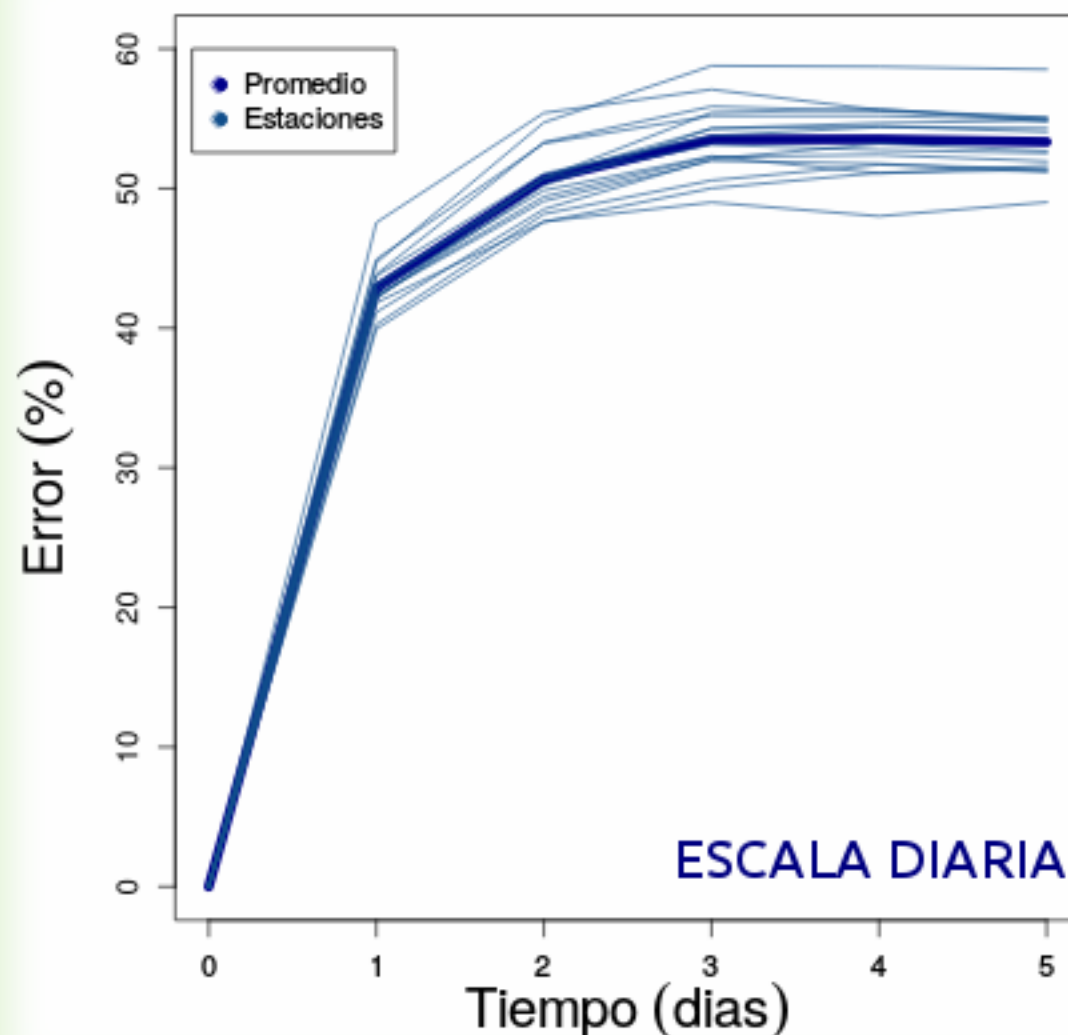
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



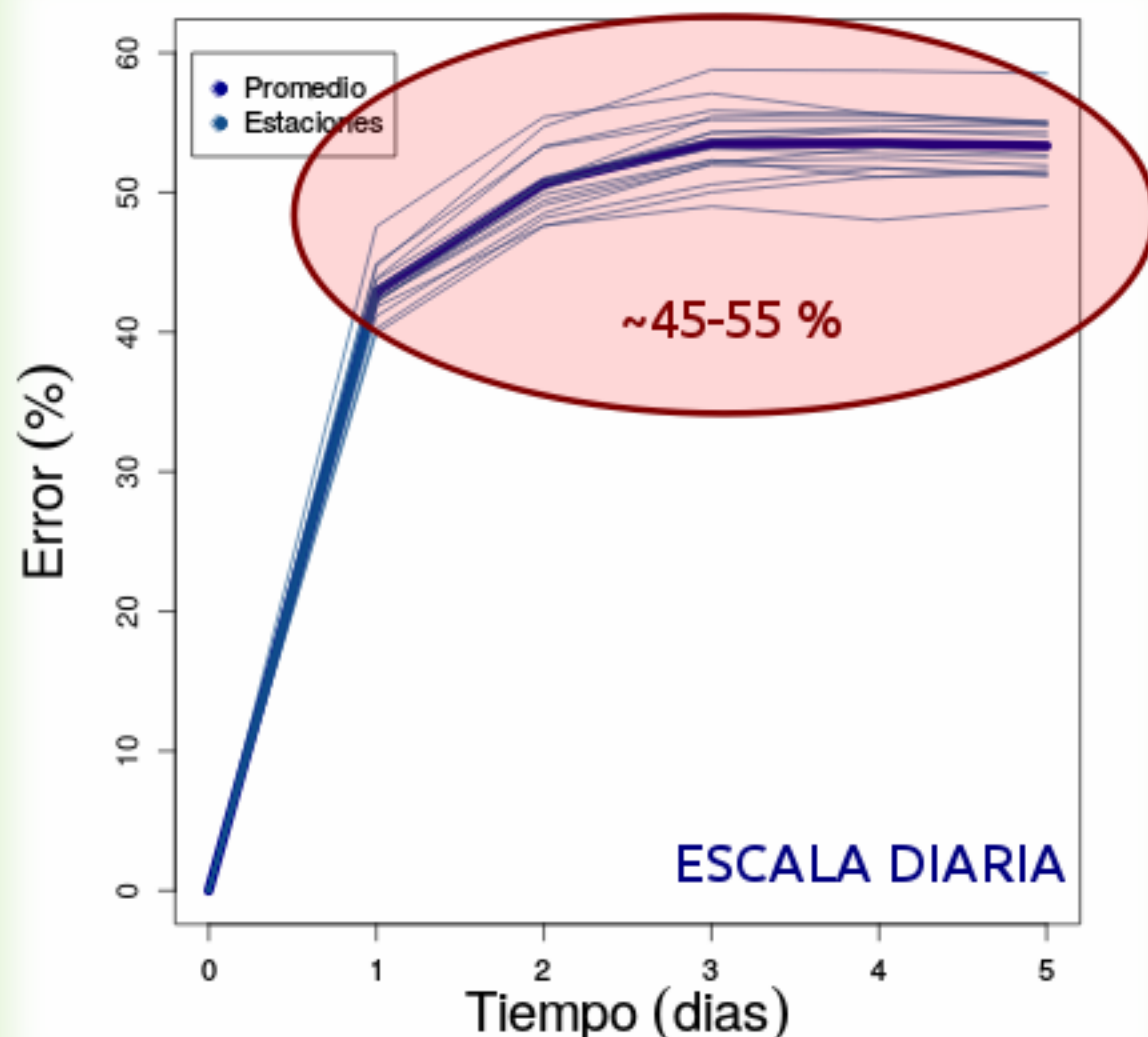
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



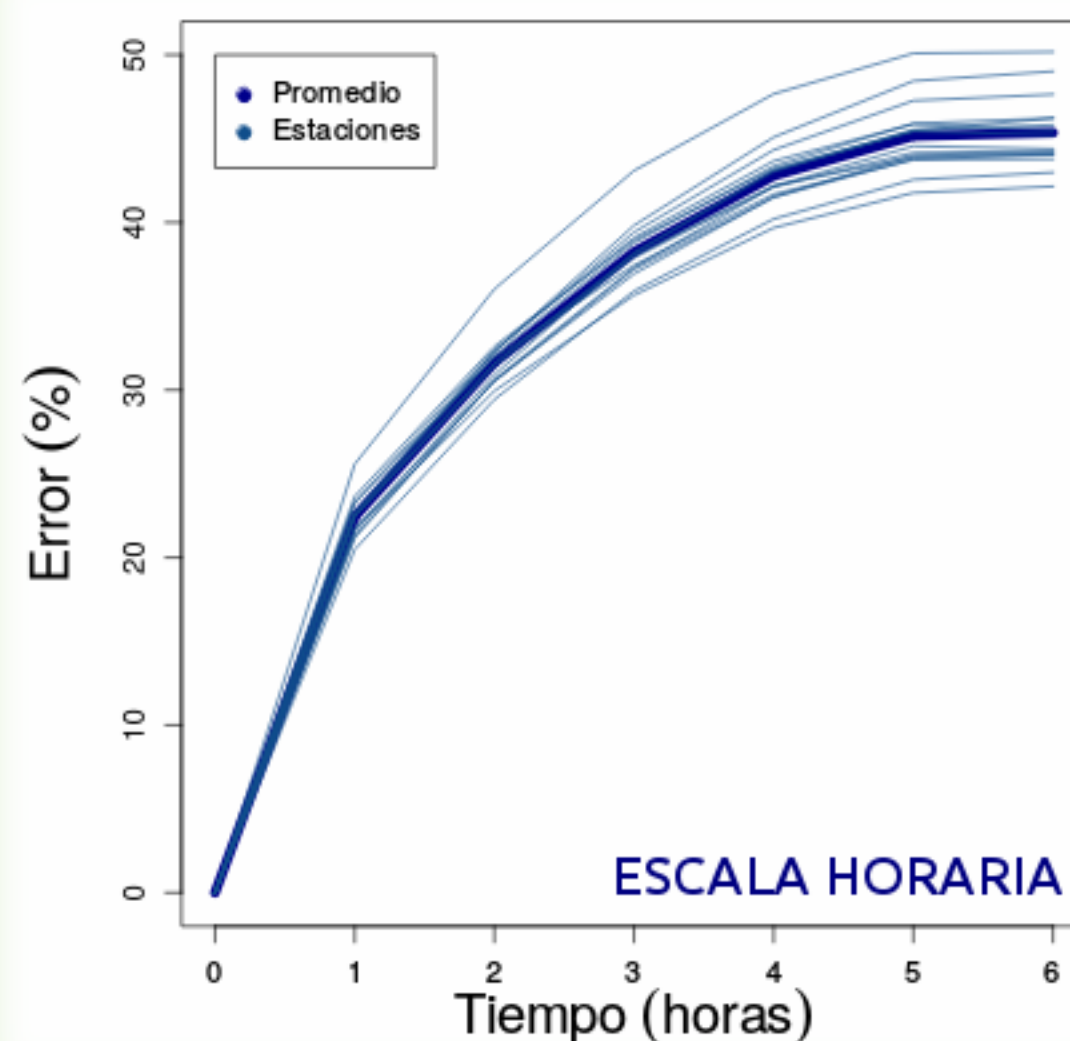
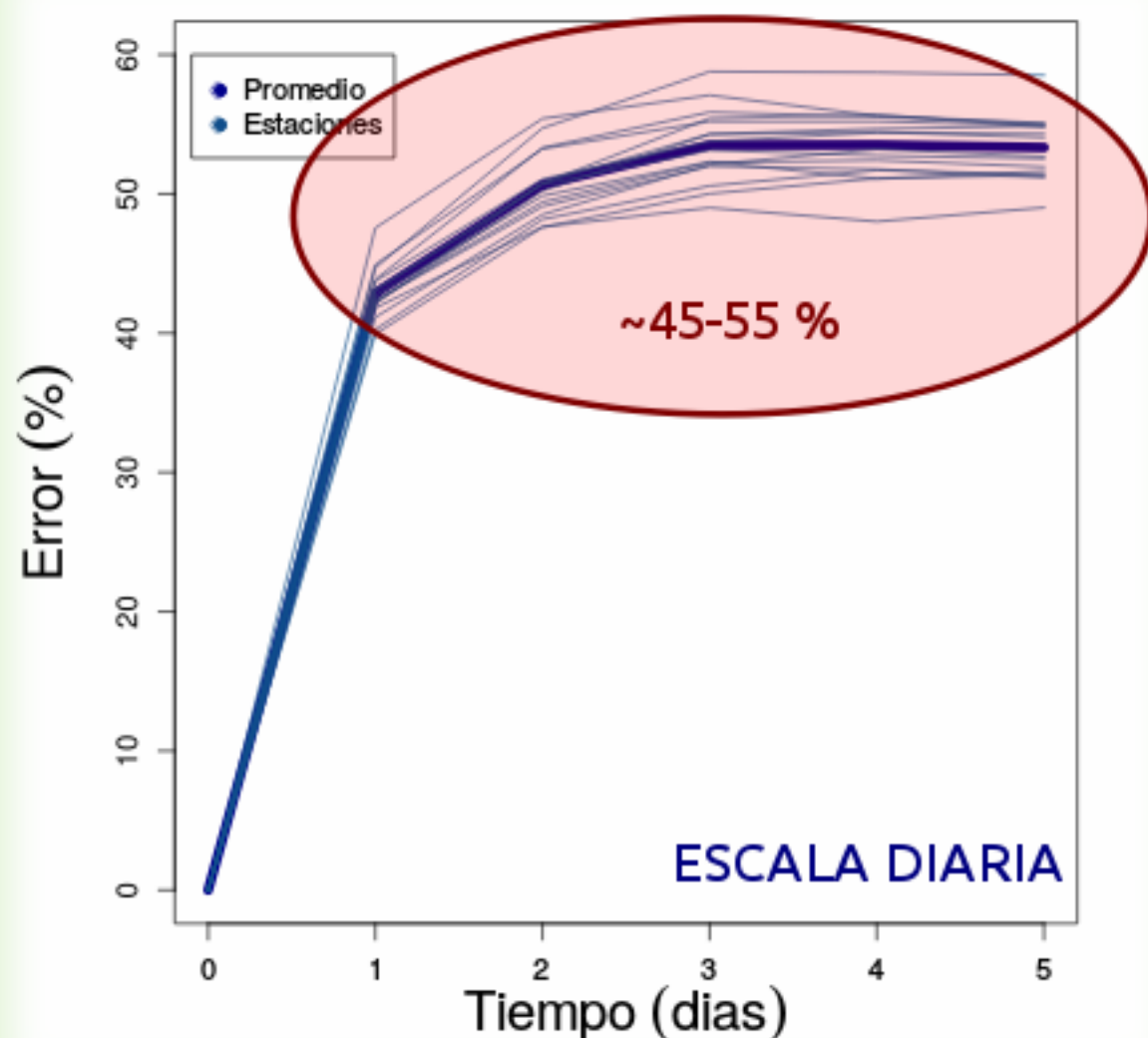
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



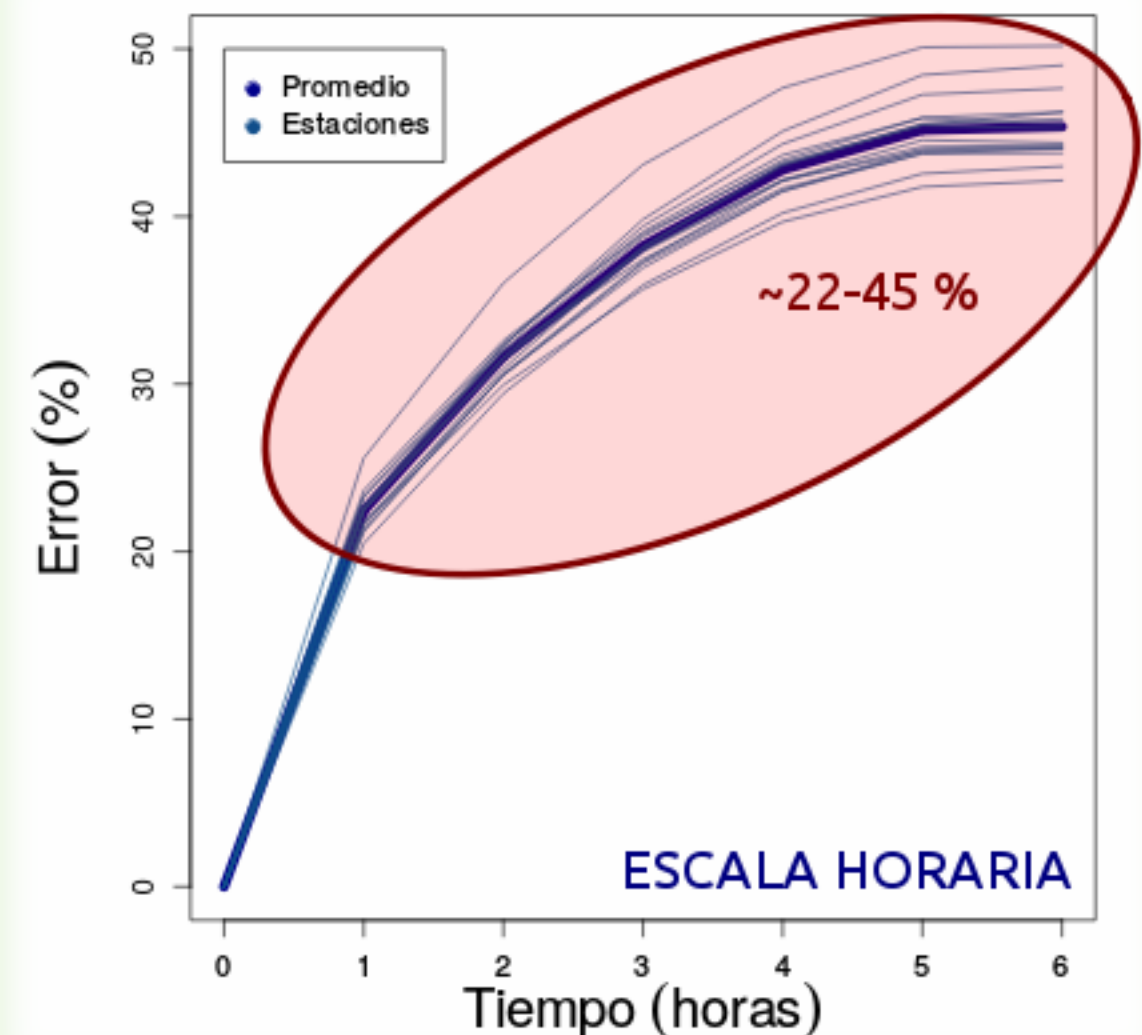
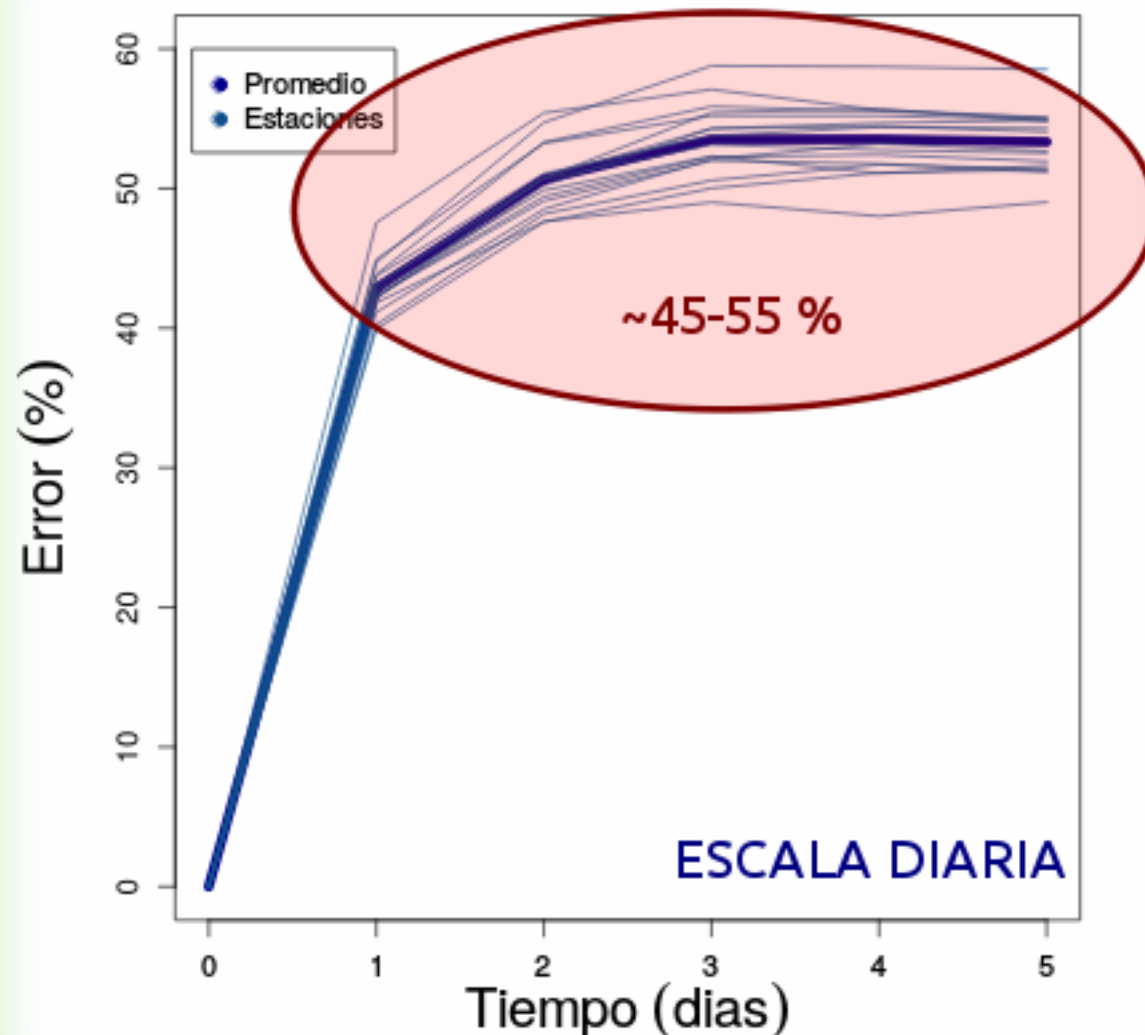
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



A menor horizonte de pronóstico, mejor desempeño de la persistencia.

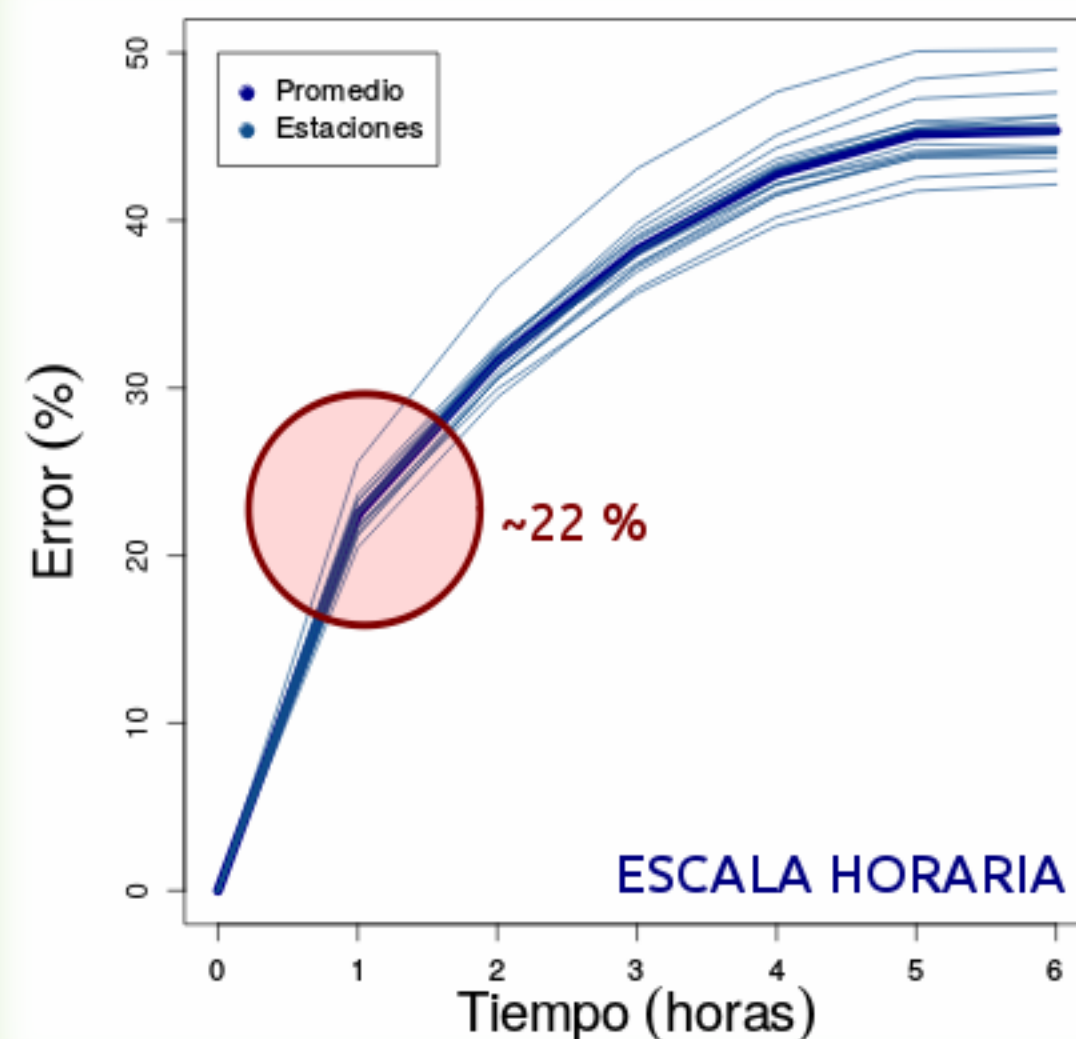
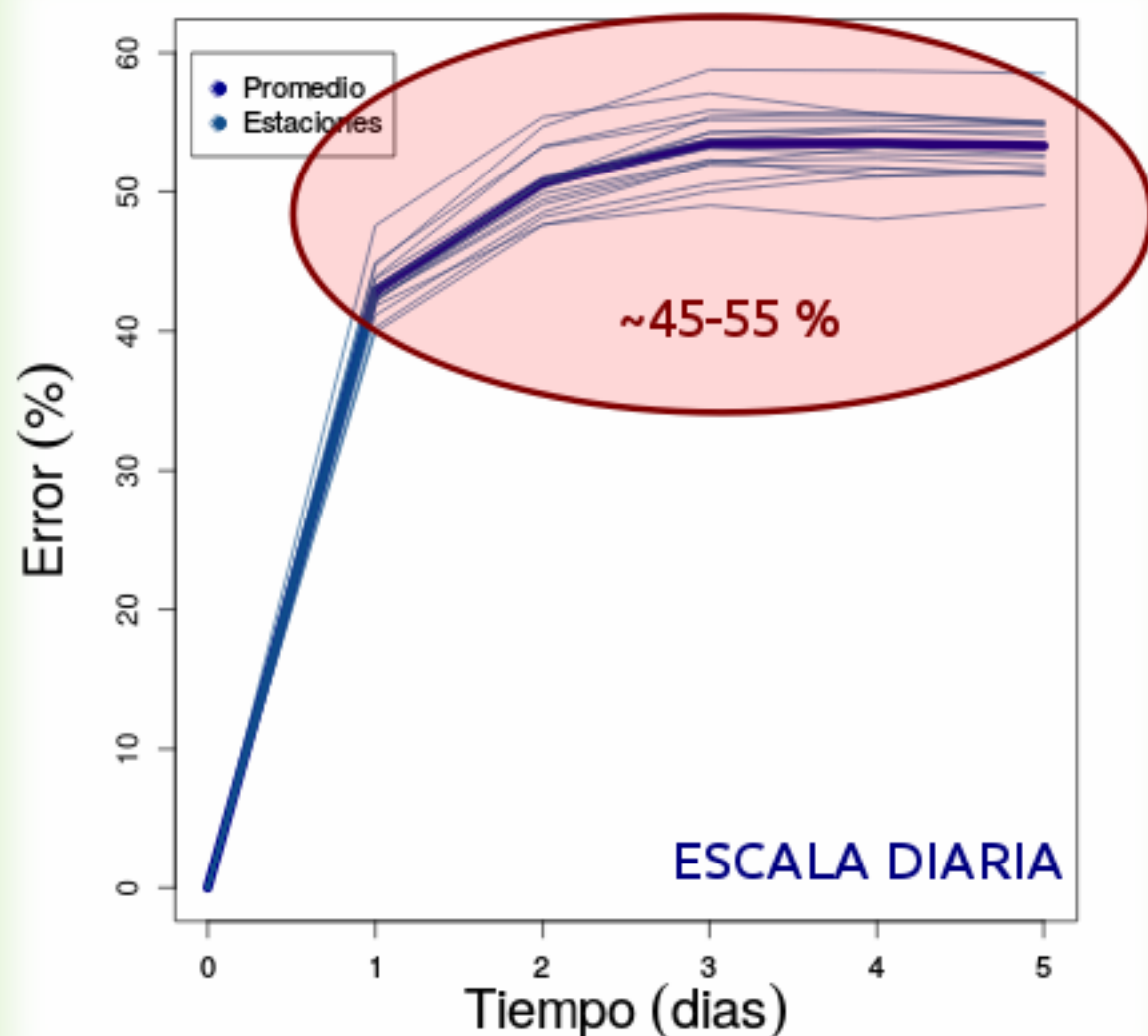
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



A menor horizonte de pronóstico, mejor desempeño de la persistencia.
Para el pronóstico a 1 hora el límite superior de la persistencia es exigente.

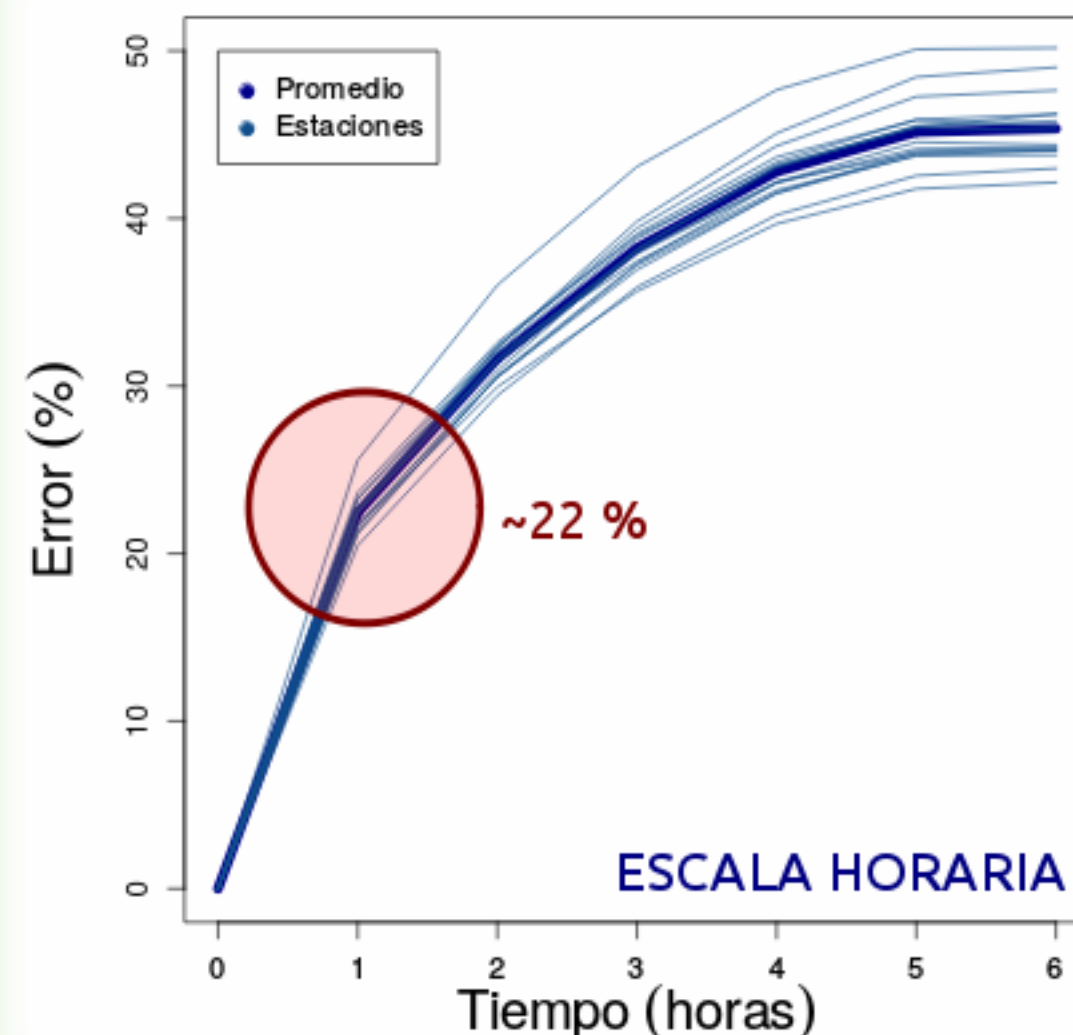
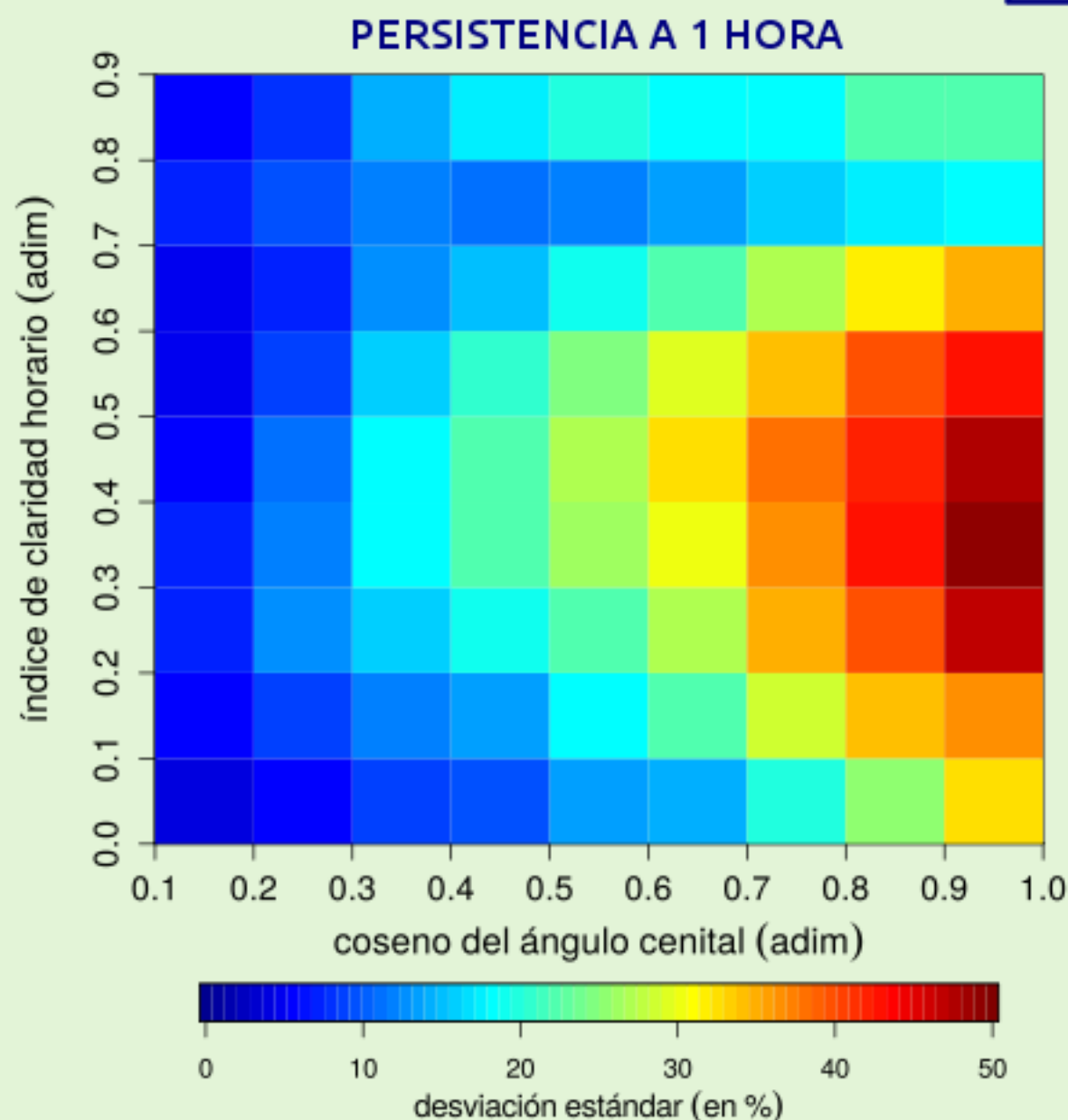
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



A menor horizonte de pronóstico, mejor desempeño de la persistencia.
Para el pronóstico a 1 hora el límite superior de la persistencia es exigente.

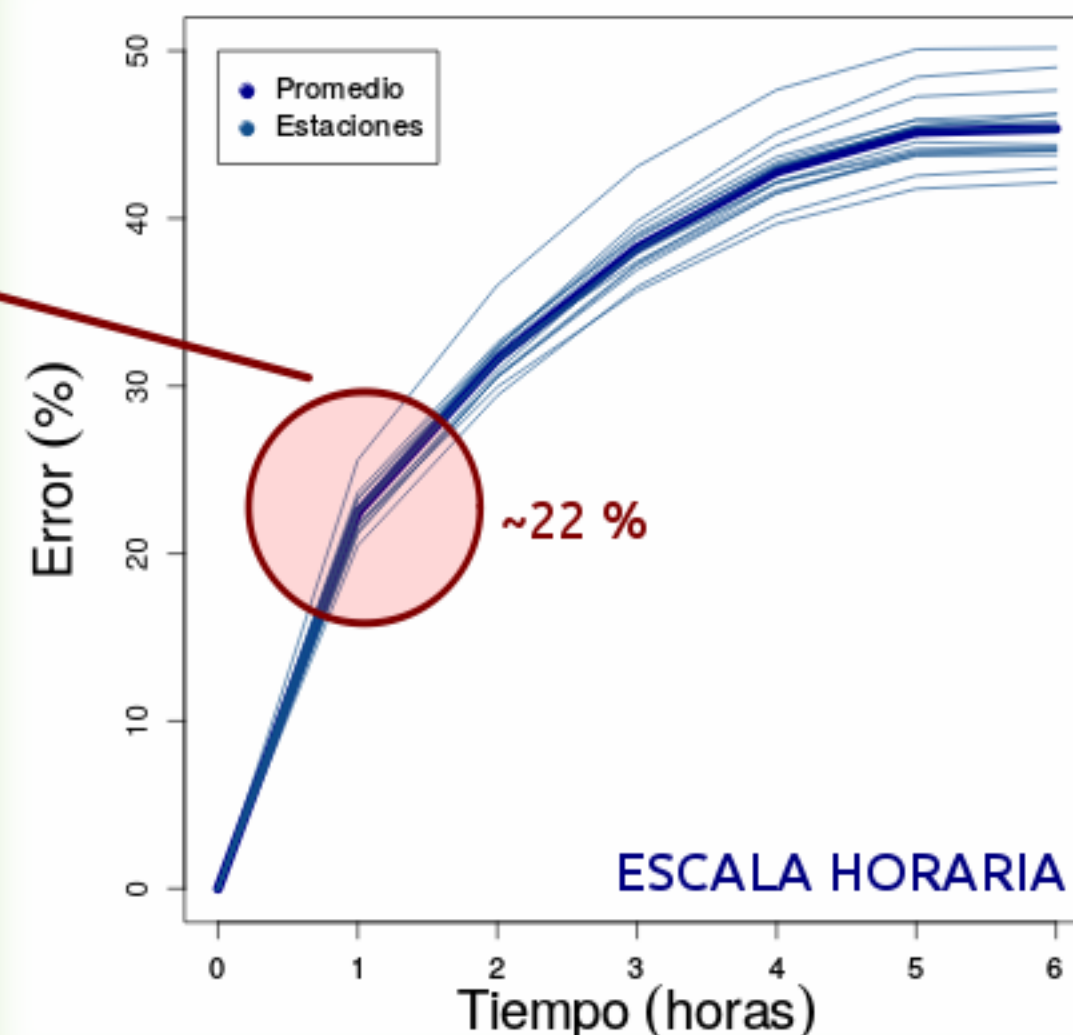
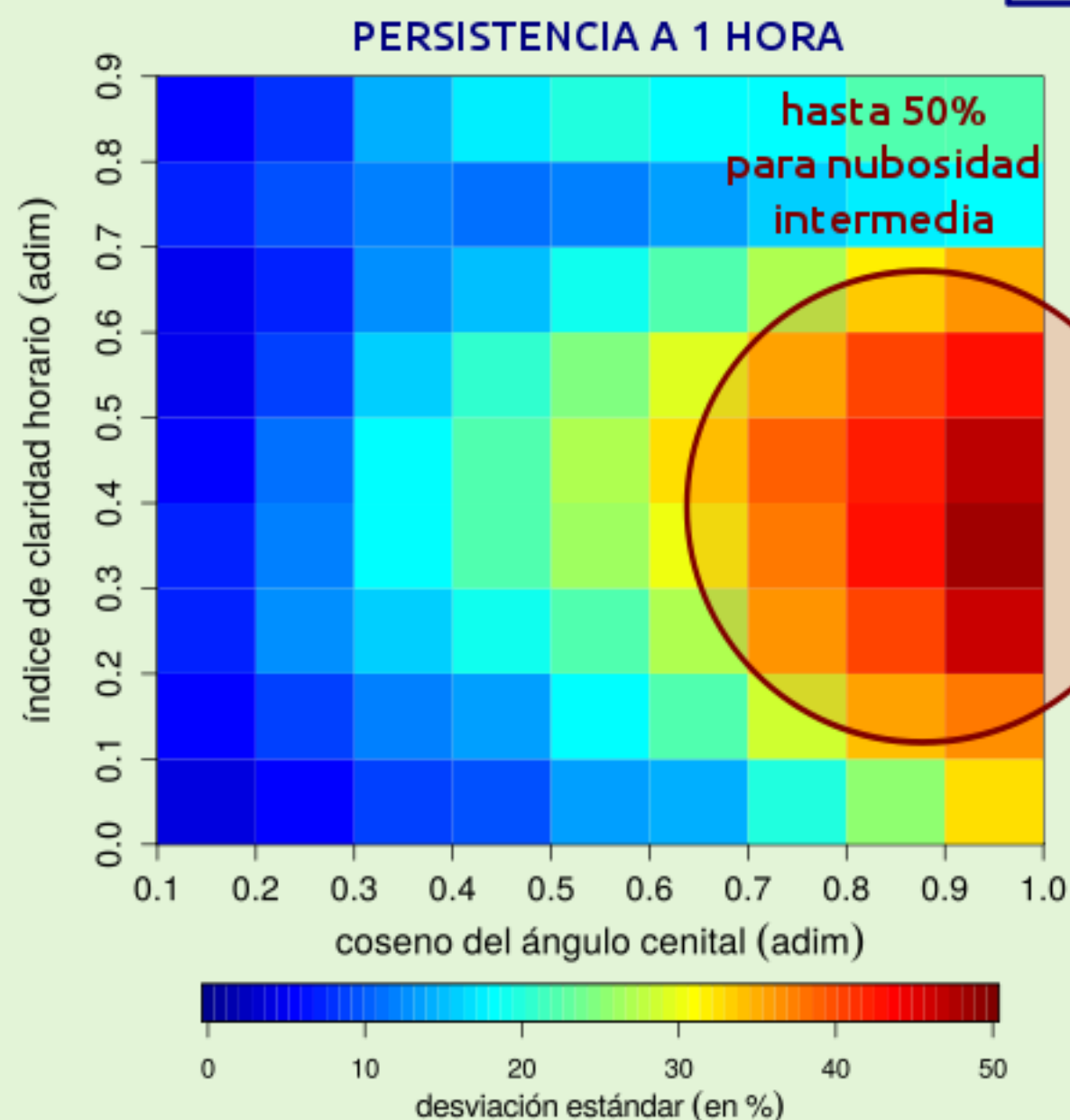
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



A menor horizonte de pronóstico, mejor desempeño de la persistencia.
Para el pronóstico a 1 hora el límite superior de la persistencia es exigente.

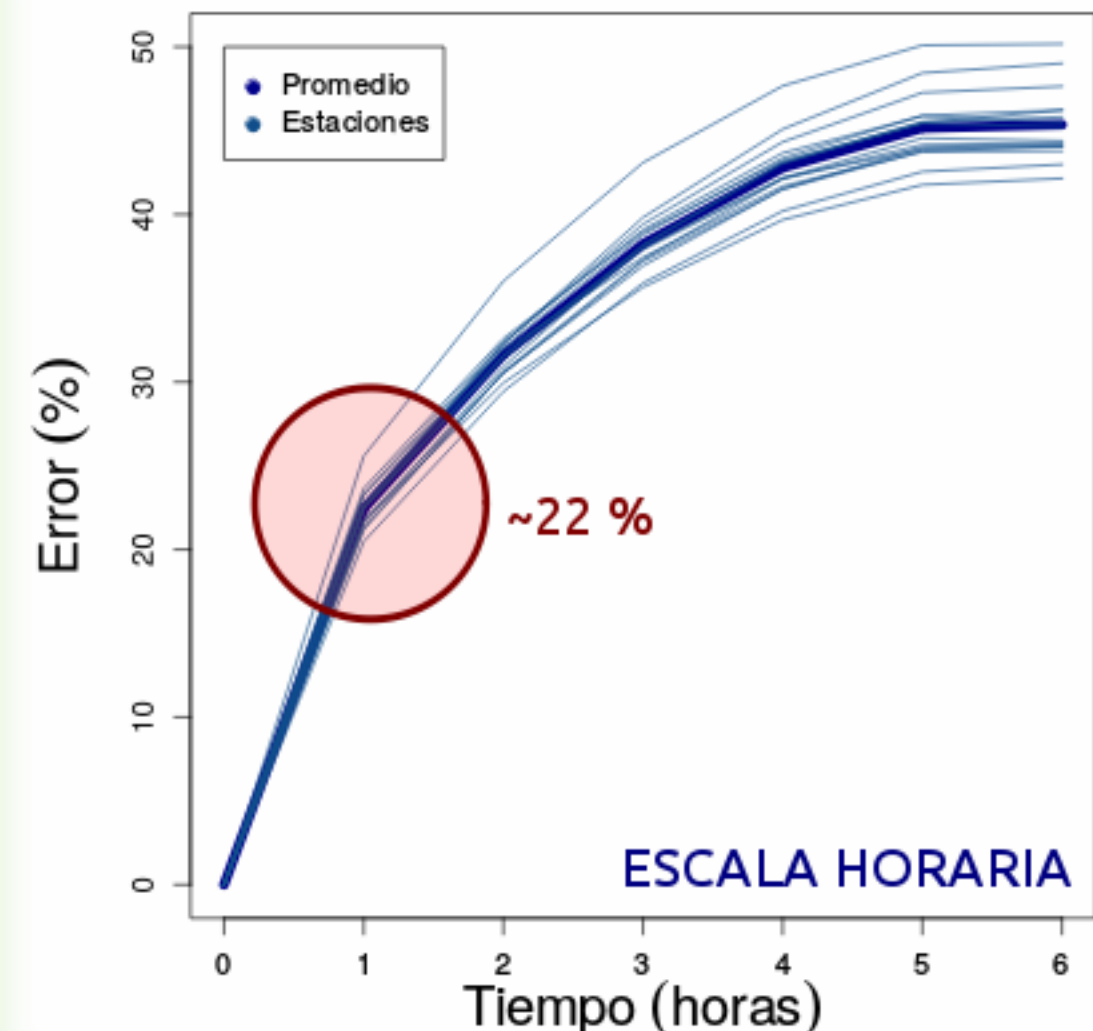
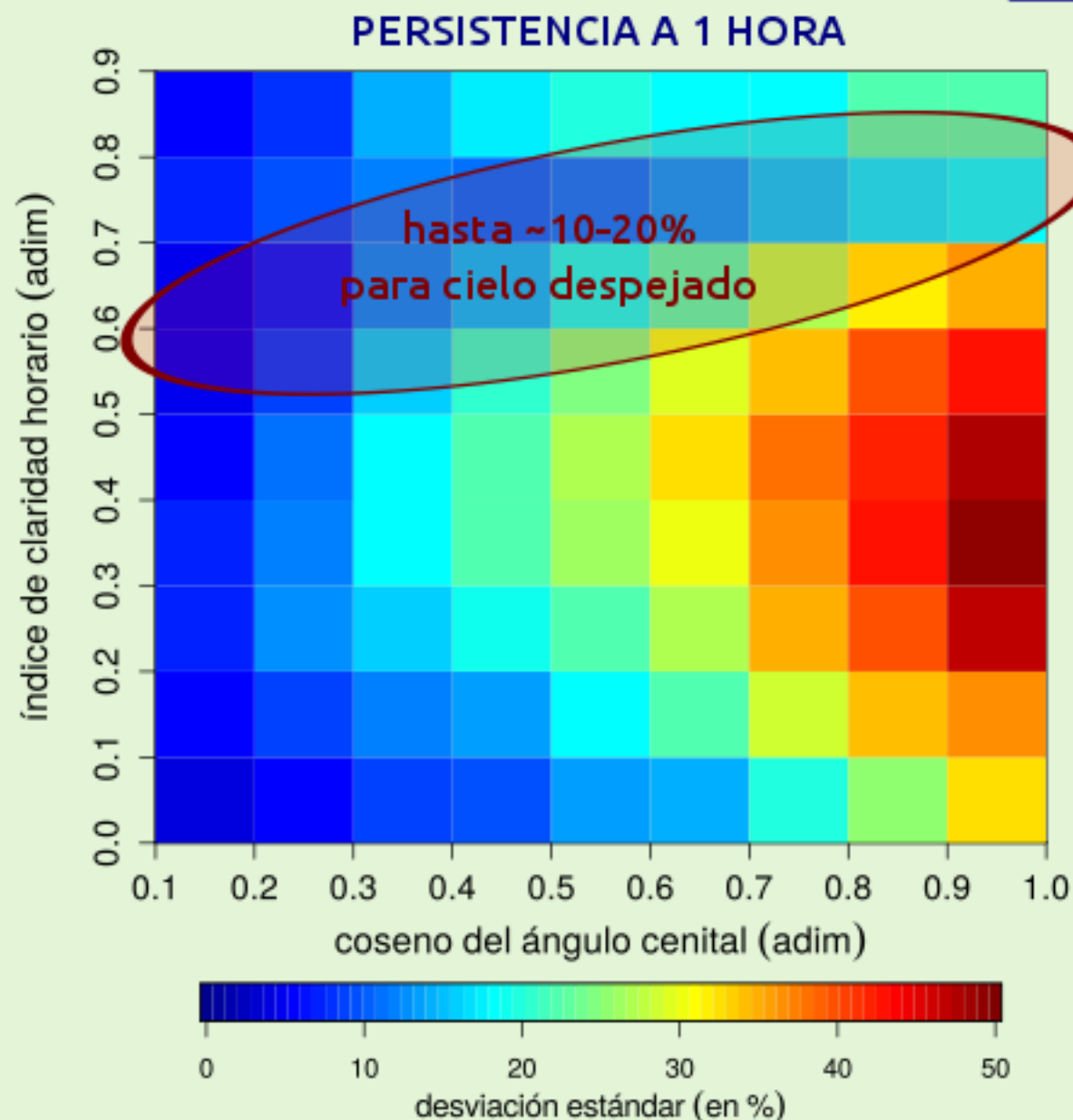
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales



A menor horizonte de pronóstico, mejor desempeño de la persistencia.
Para el pronóstico a 1 hora el límite superior de la persistencia es exigente.

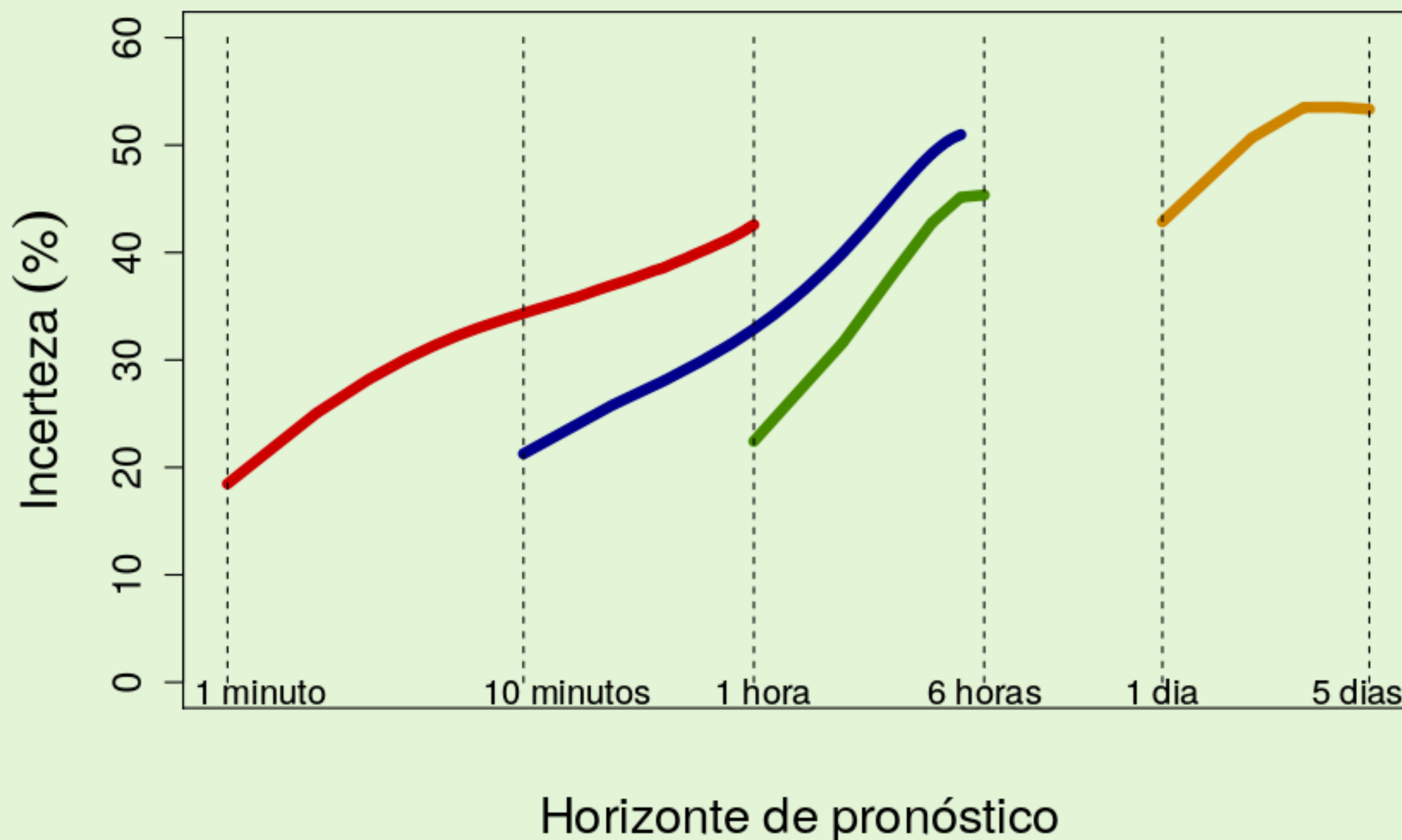
PERSISTENCIA

FORMA DE PRONÓSTICO MÁS SIMPLE

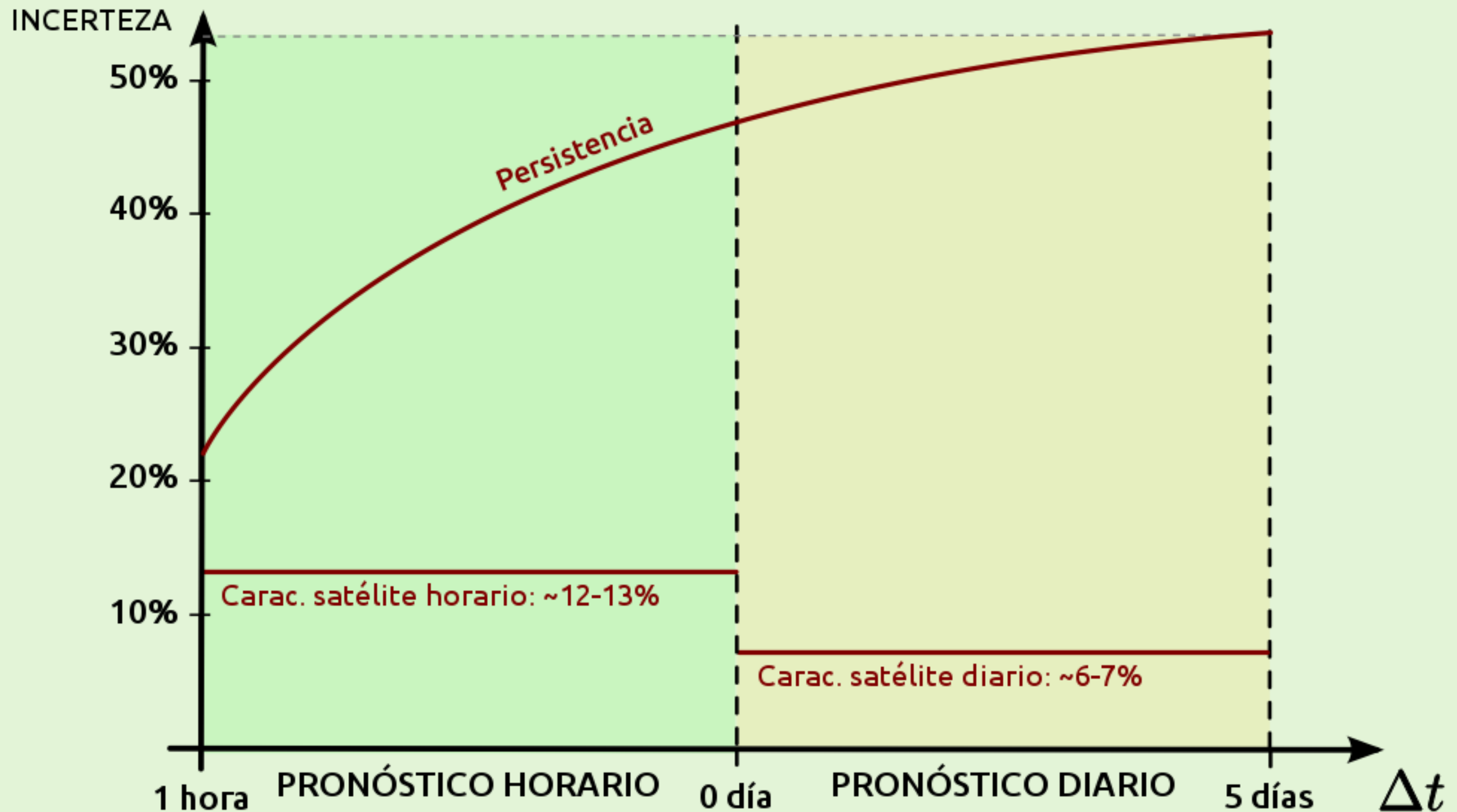
$$k_T(t + \Delta t) = k_T(t)$$

(basada en el índice de claridad)

aplica a todas las escalas temporales

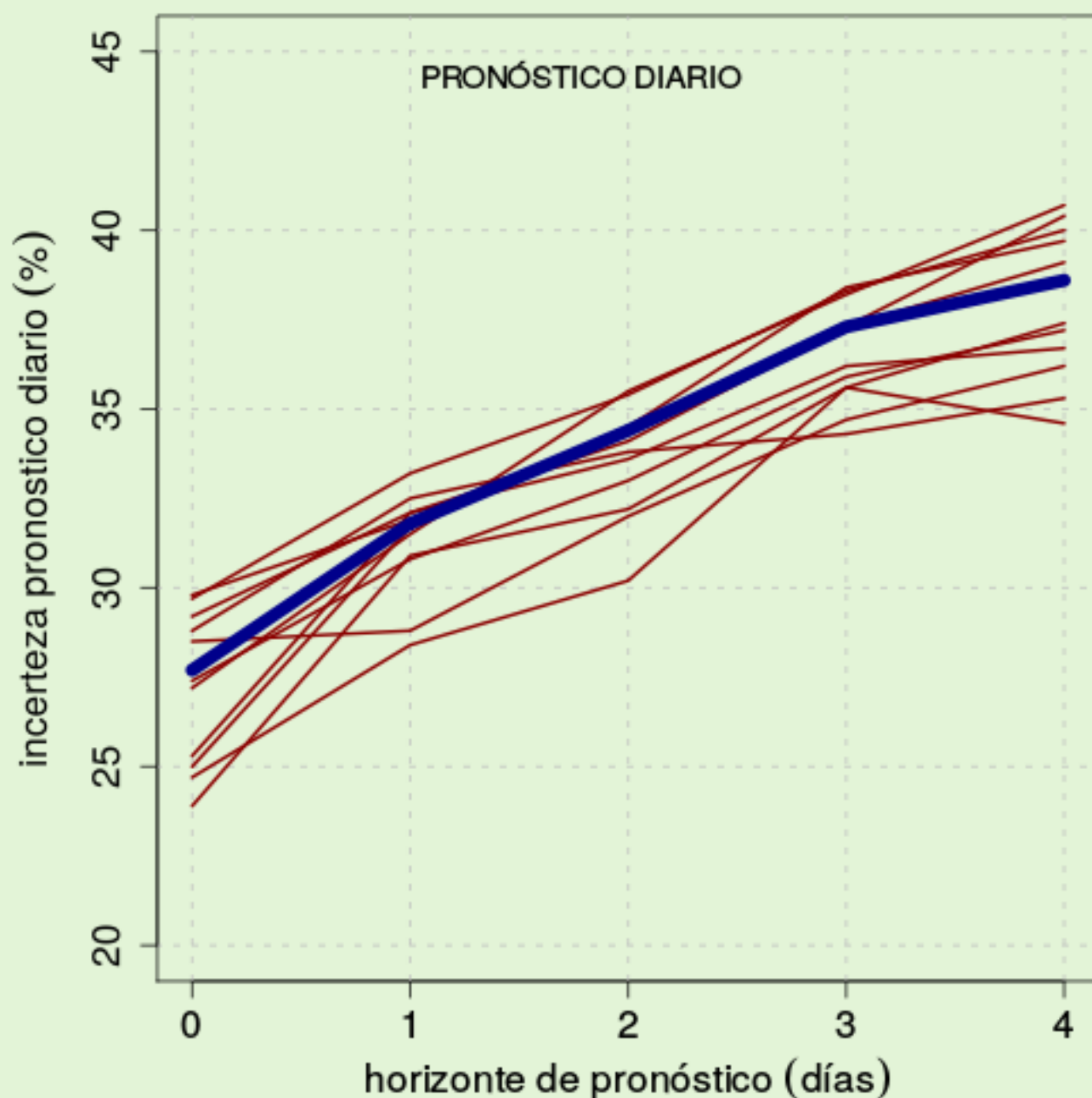


FOCO: PRONÓSTICO DIARIO Y HORARIO

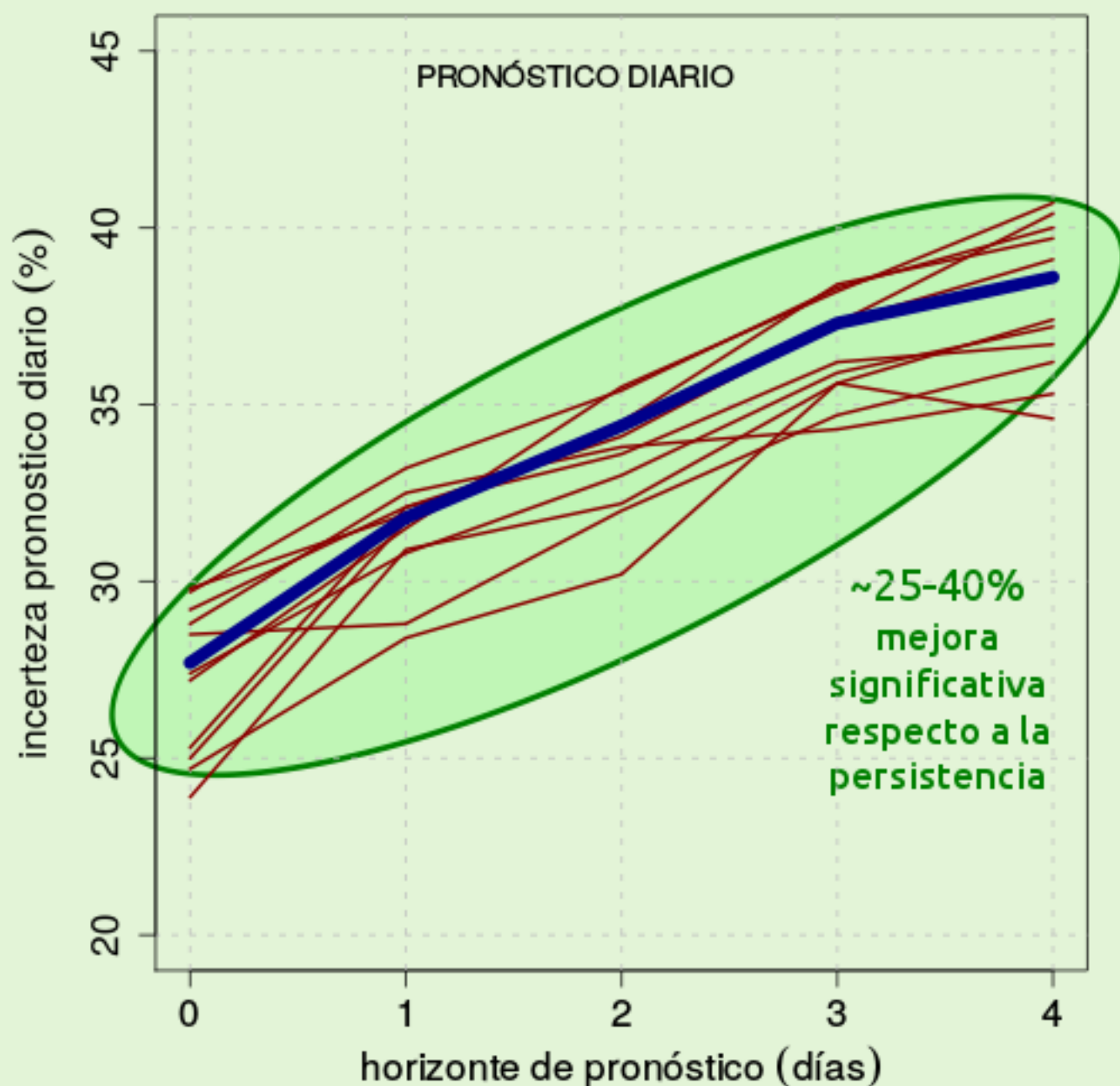


MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO...
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN

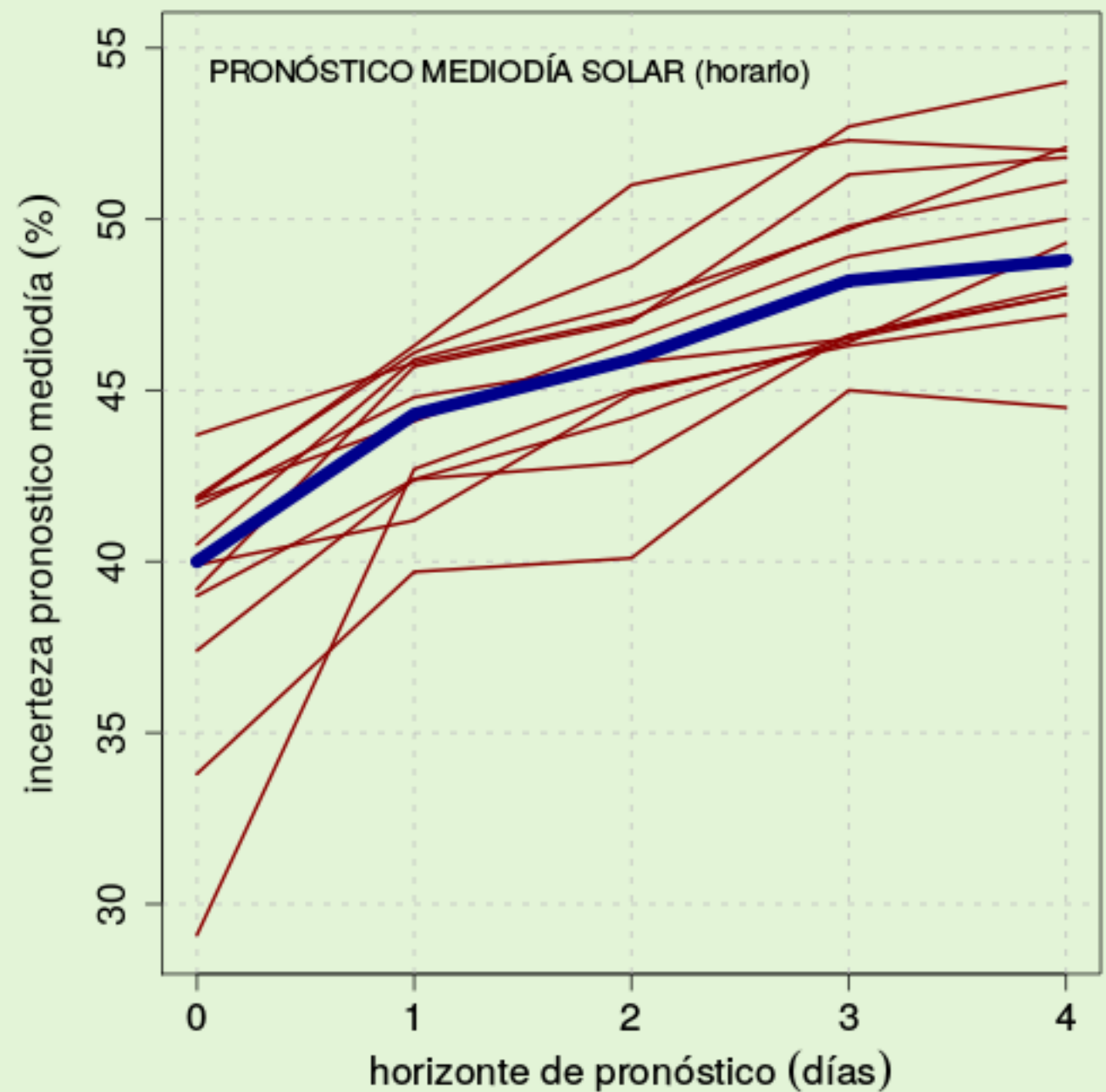
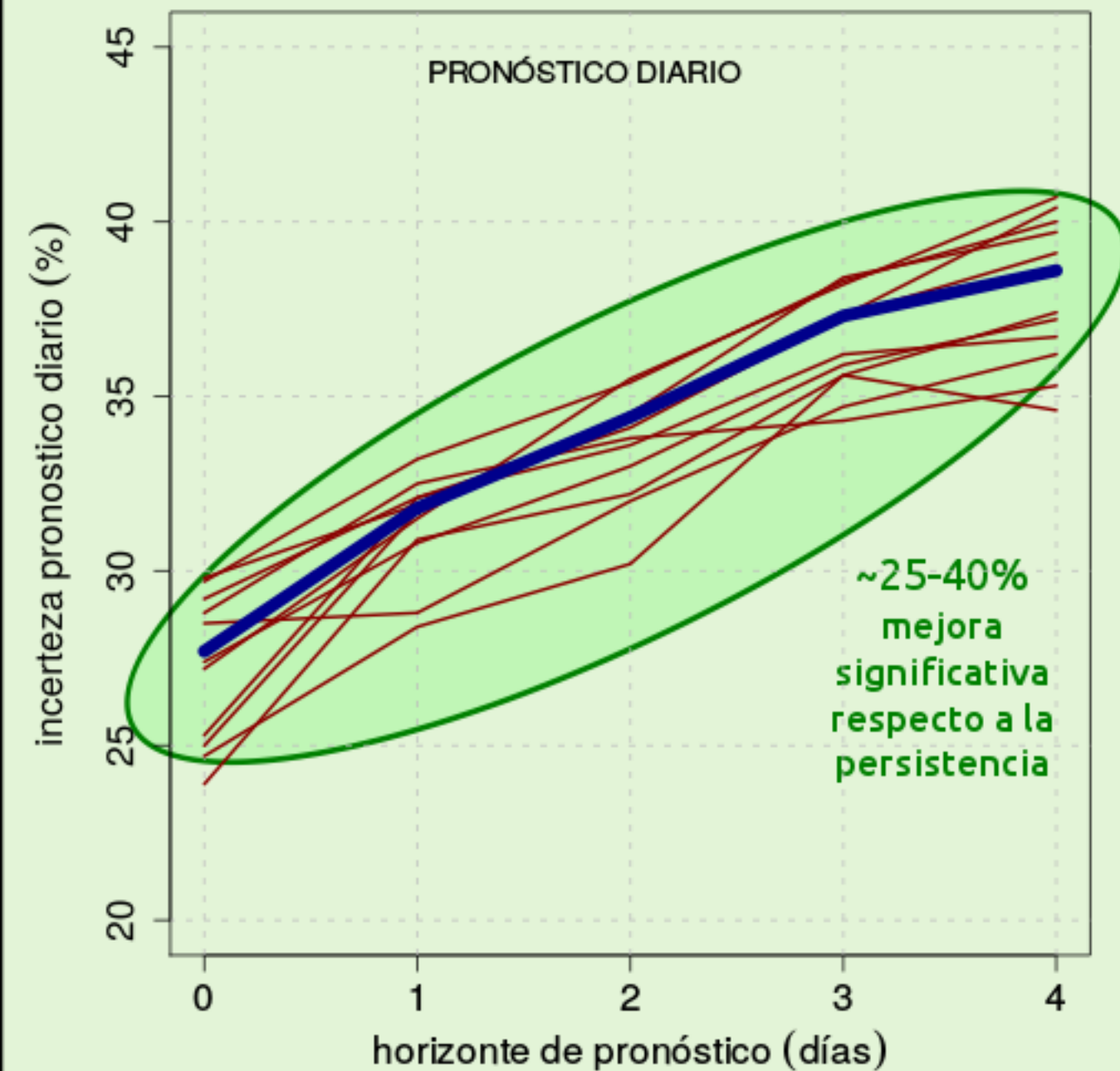
MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN



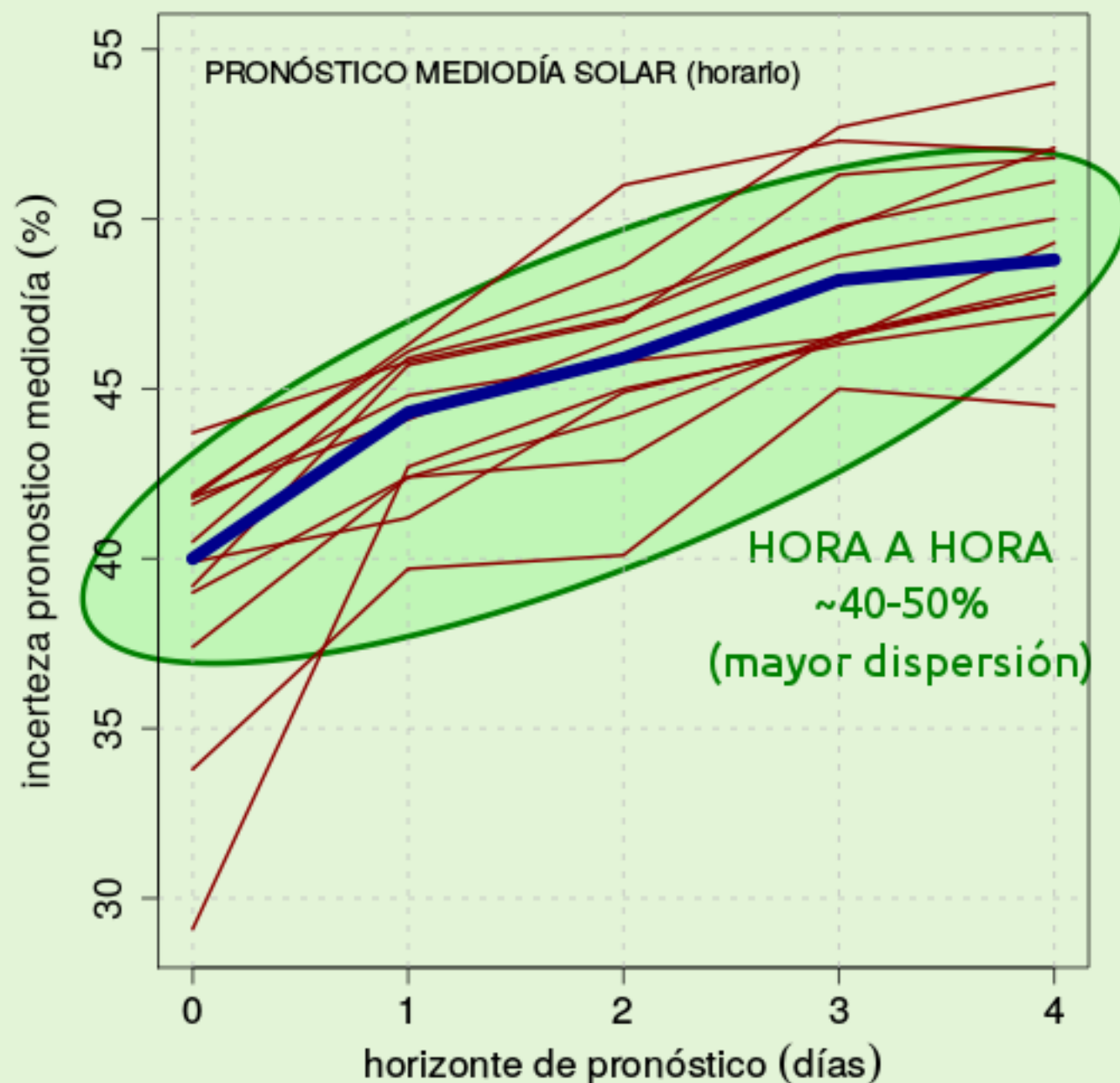
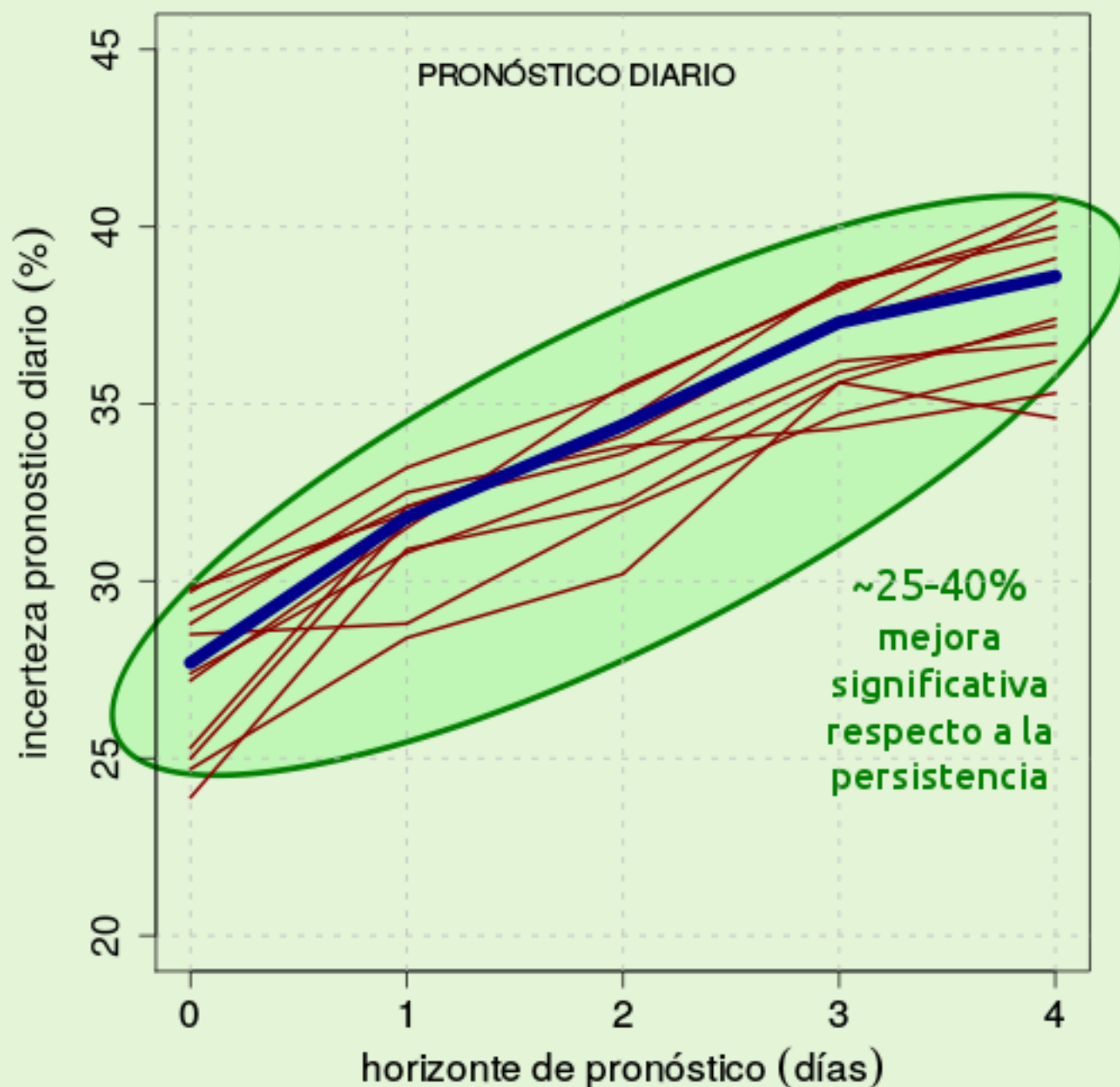
MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN



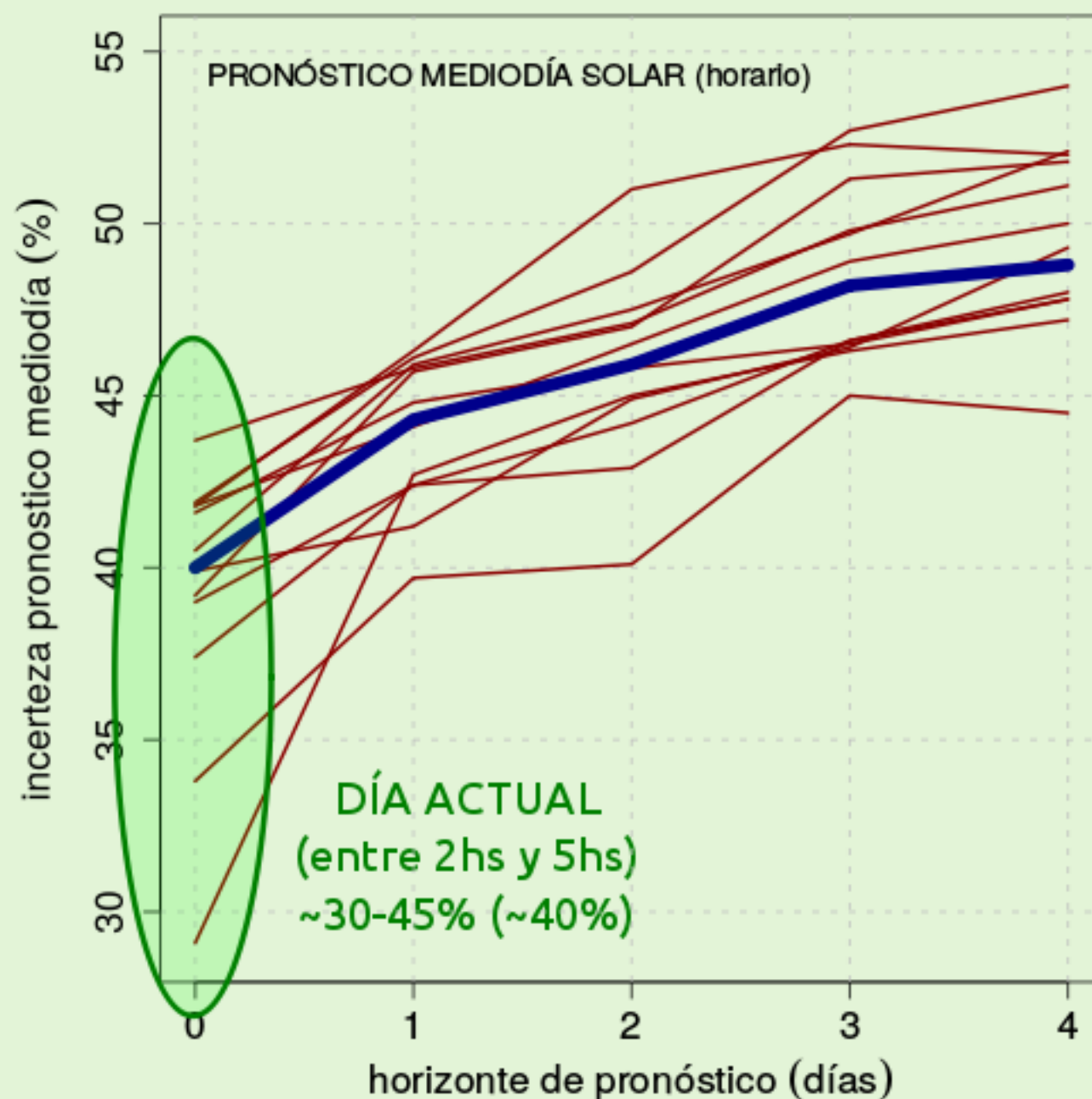
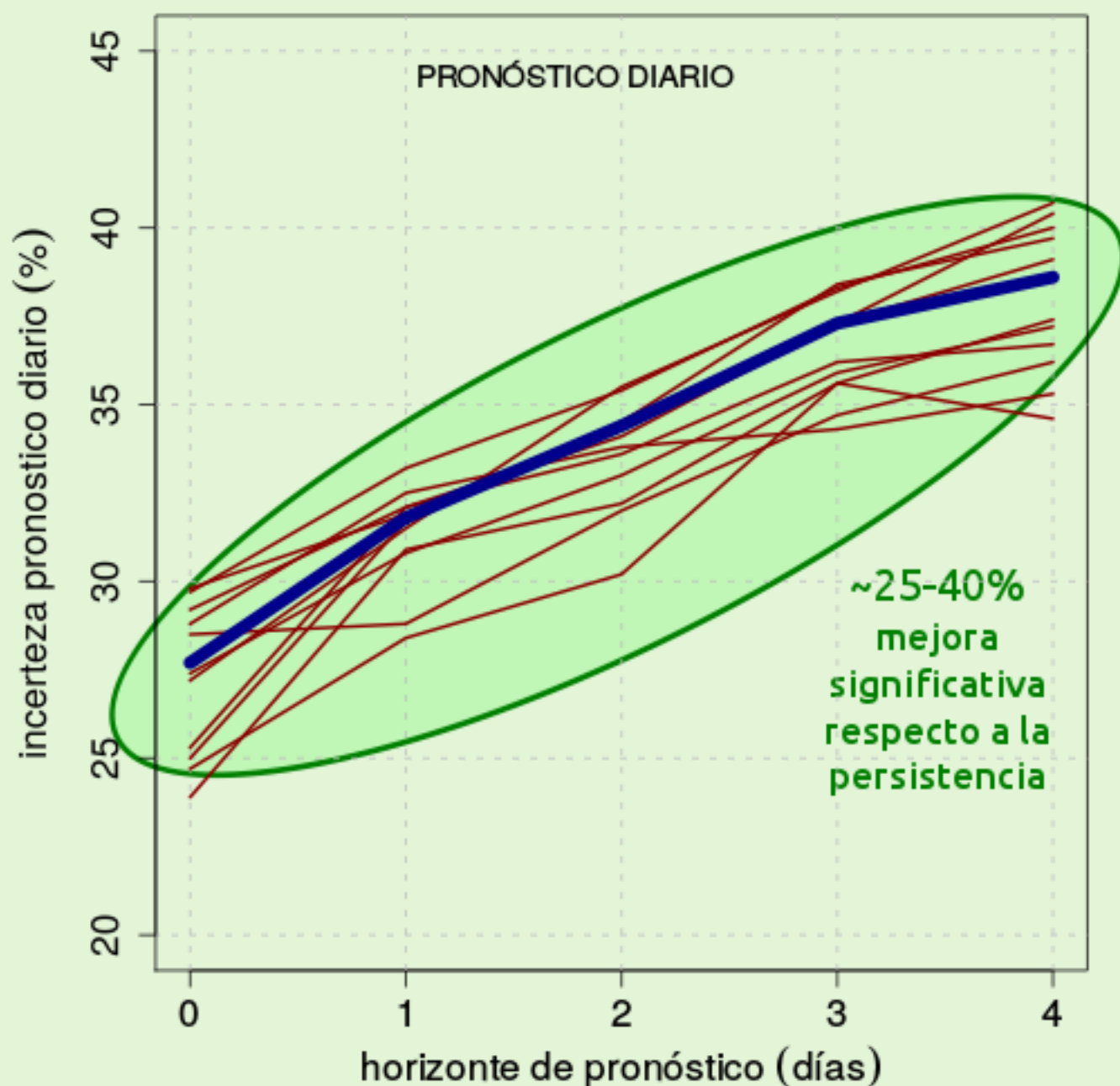
MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN



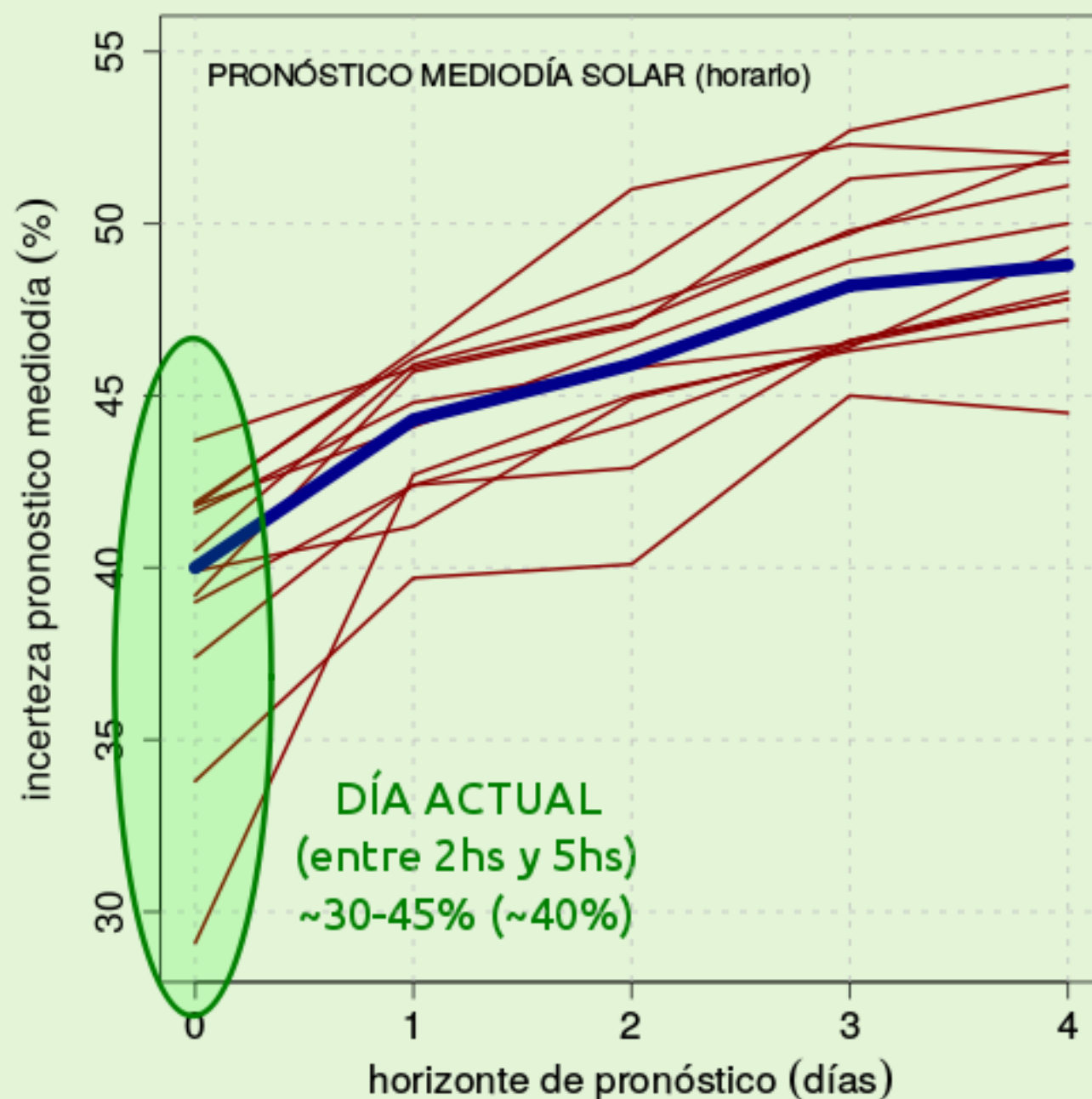
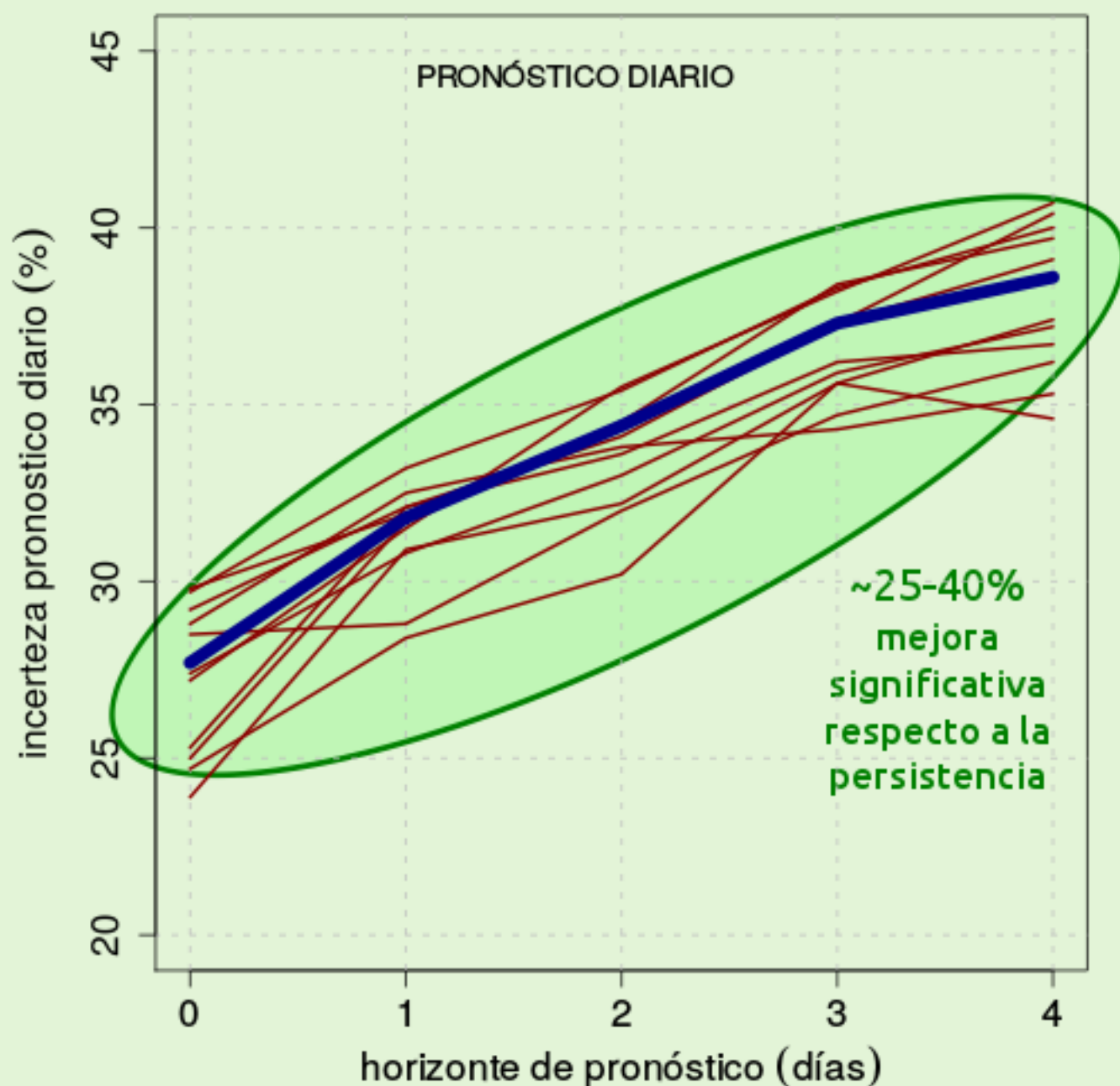
MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN



MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN

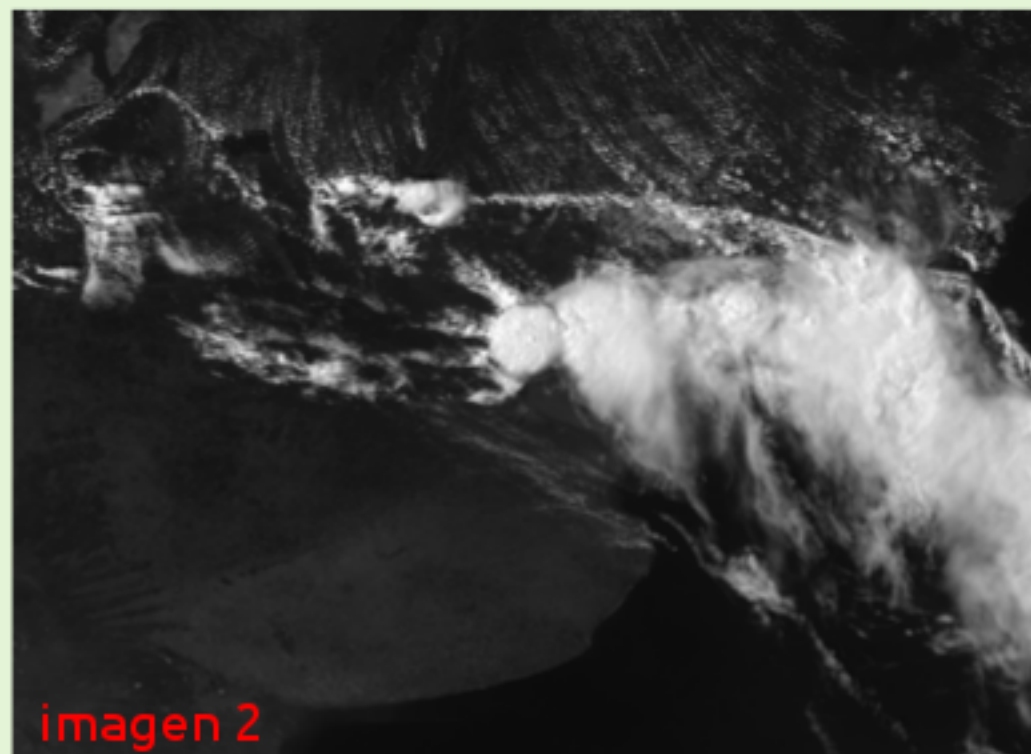
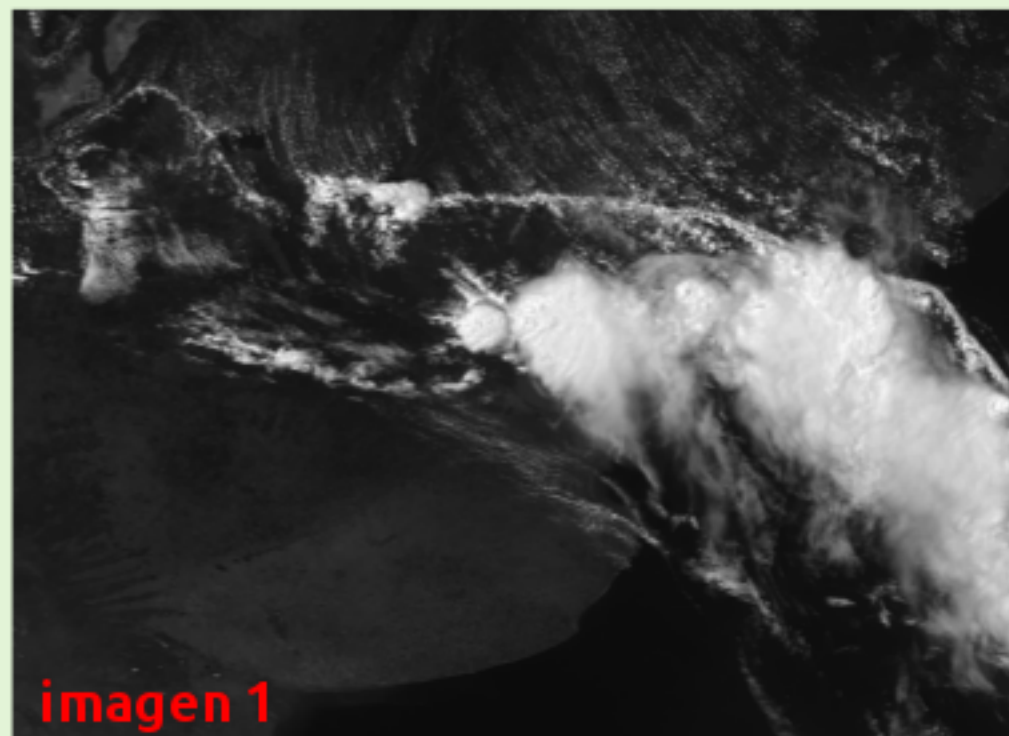


MODELOS NUMÉRICOS DE ATMÓSFERA: FUNCIONAMIENTO YA EXPLICADO... EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO PARA VARIABLE IRRADIACIÓN

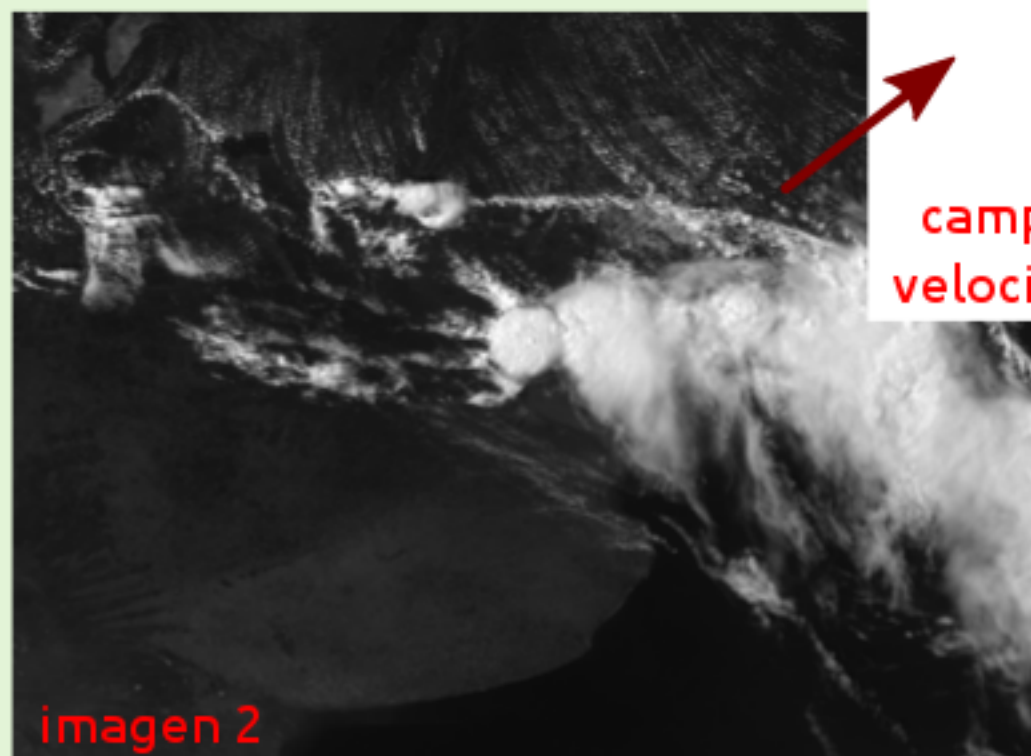
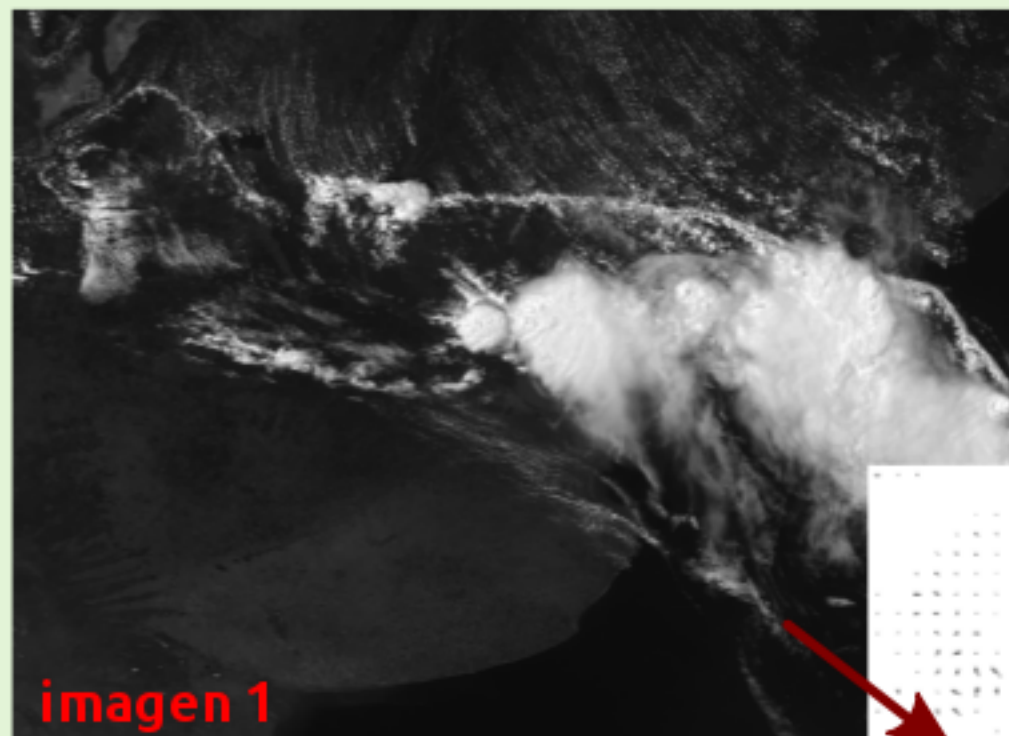


PRONOSTICO DIARIO MEJORA LA PERSISTENCIA, PRONOSTICO HORARIO EN ALGUNOS HORIZONTES

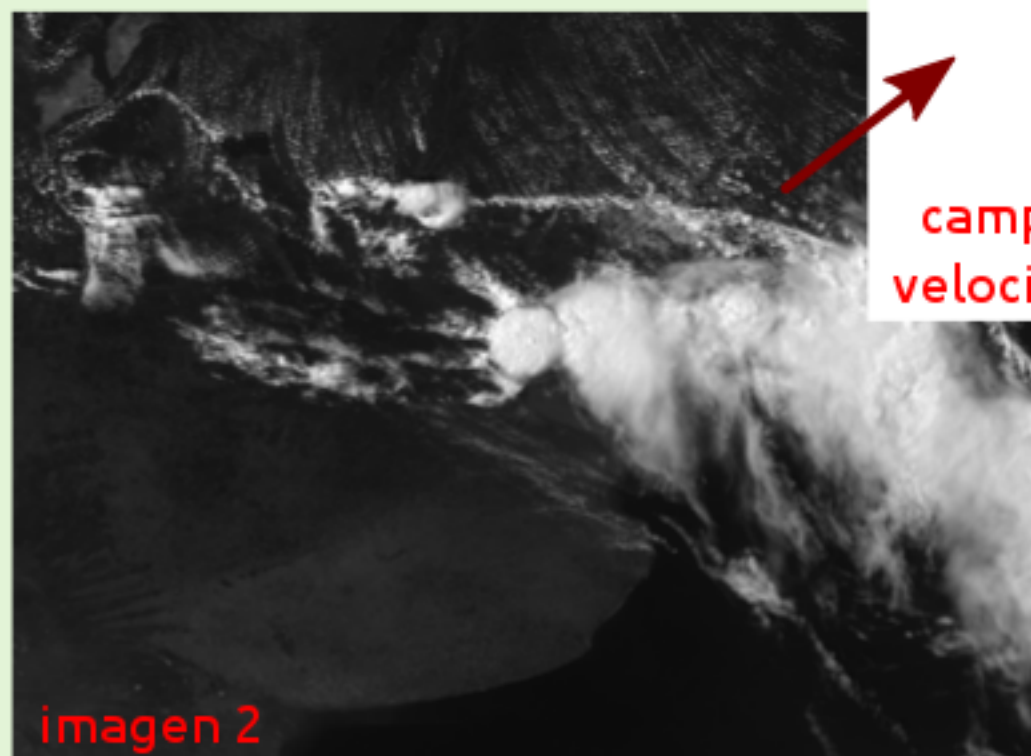
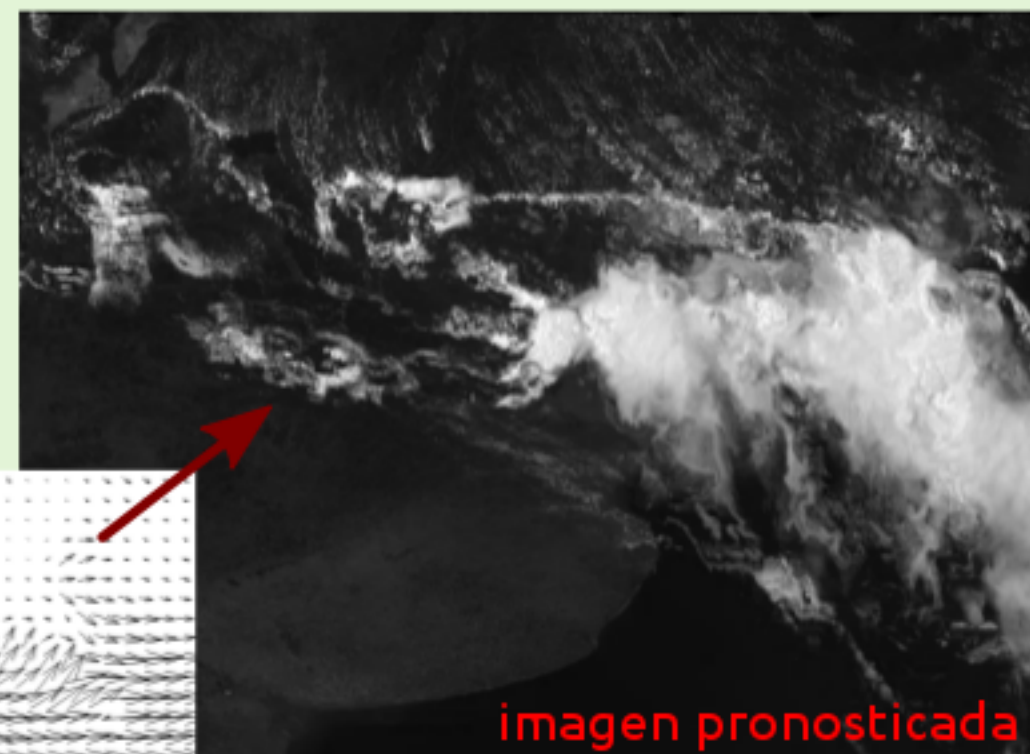
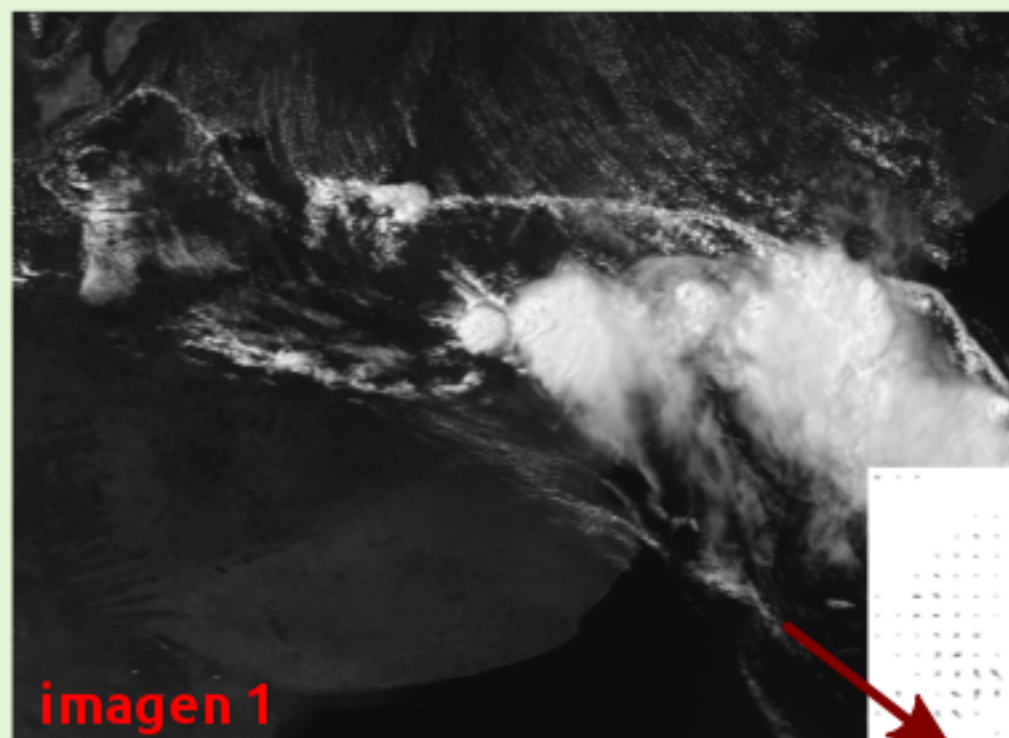
PRONÓSTICO POR SATÉLITE



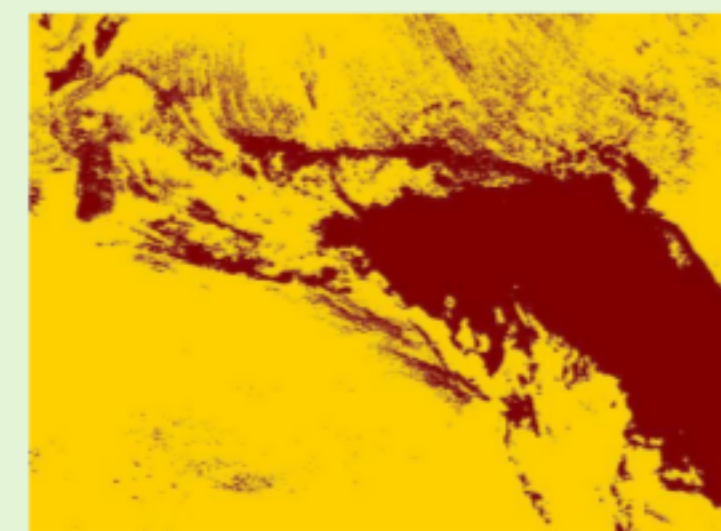
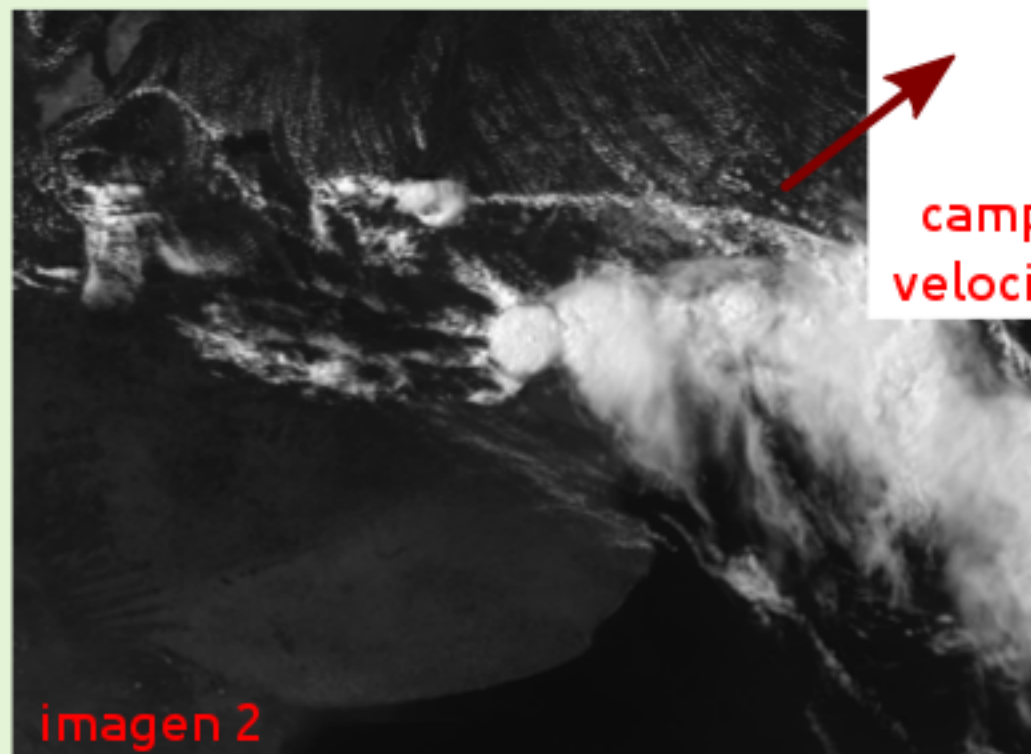
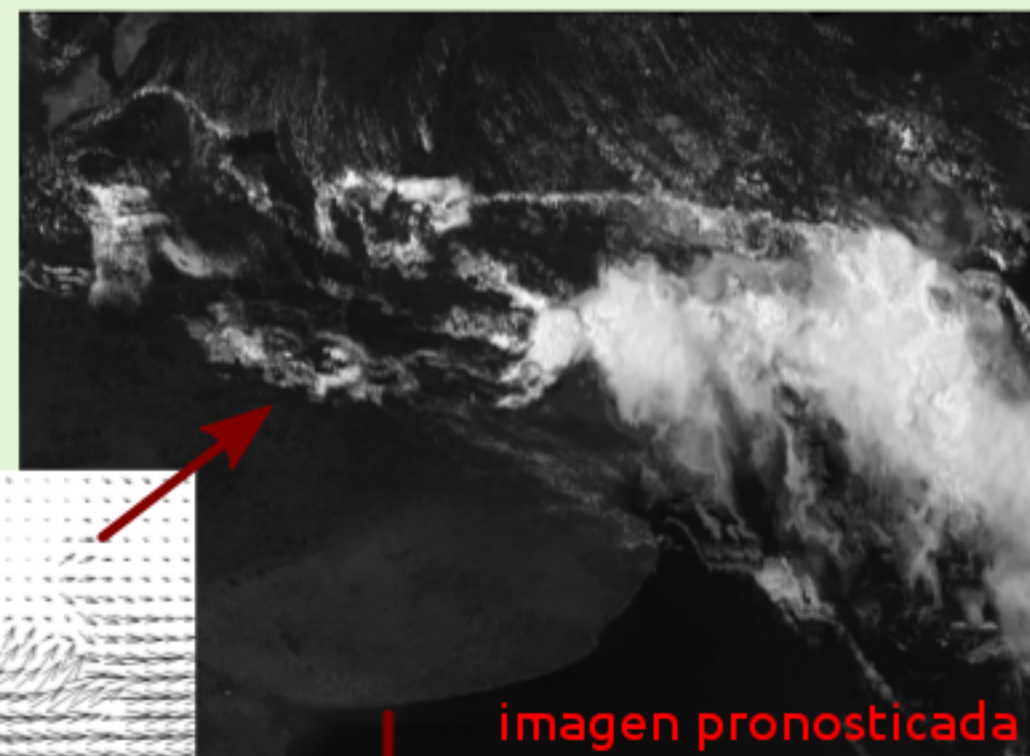
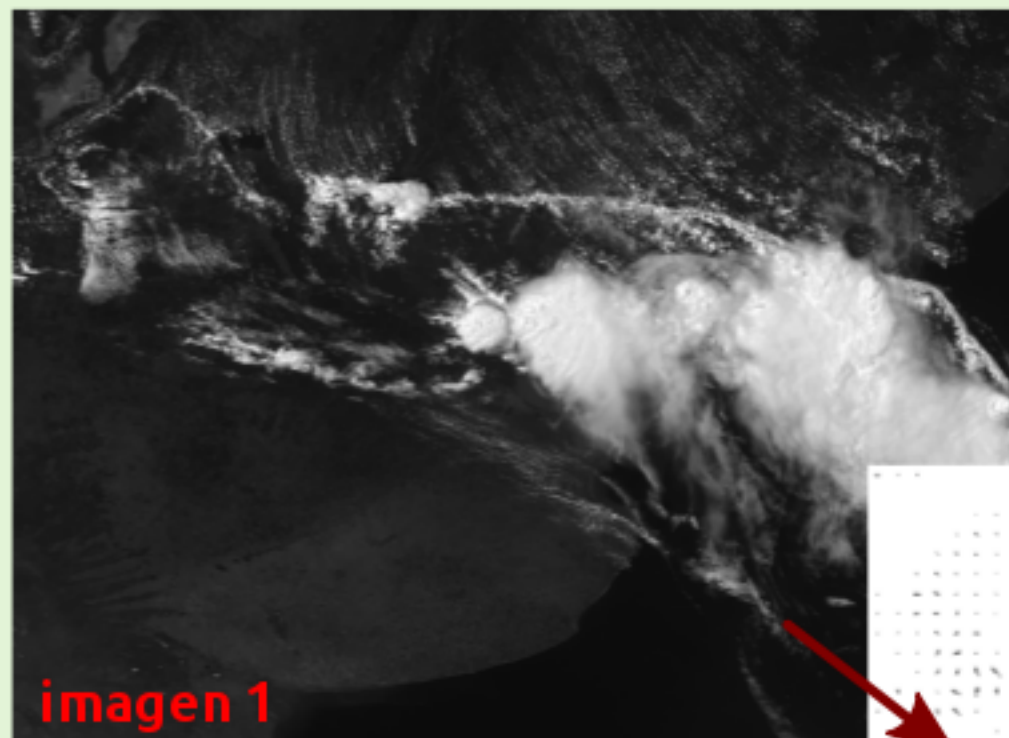
PRONÓSTICO POR SATÉLITE



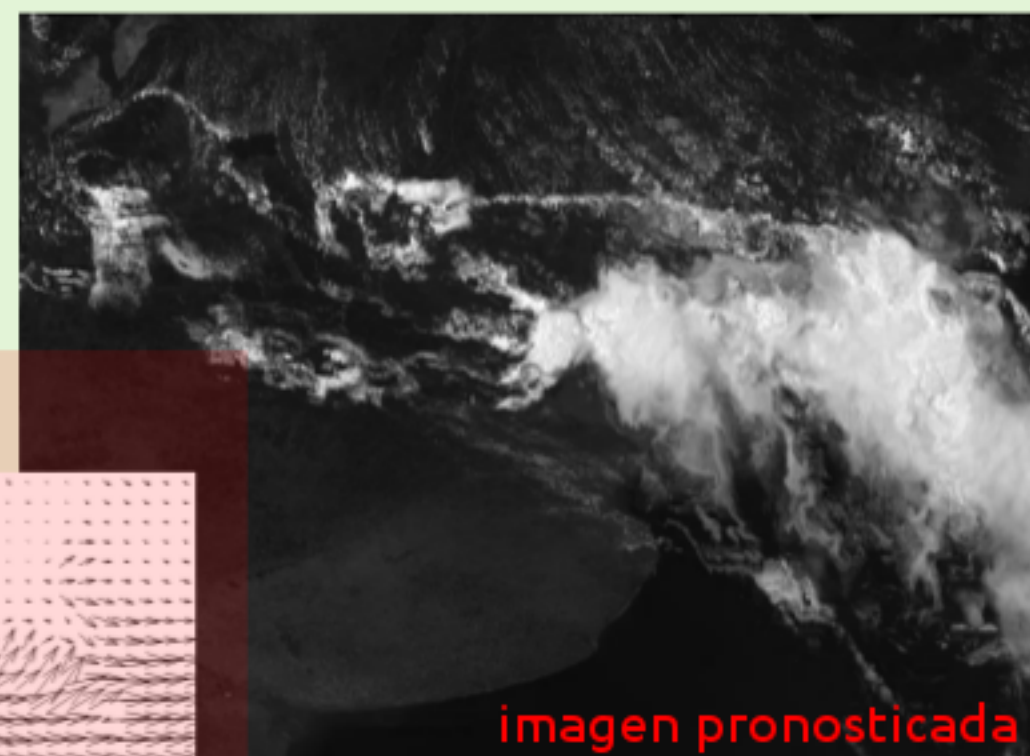
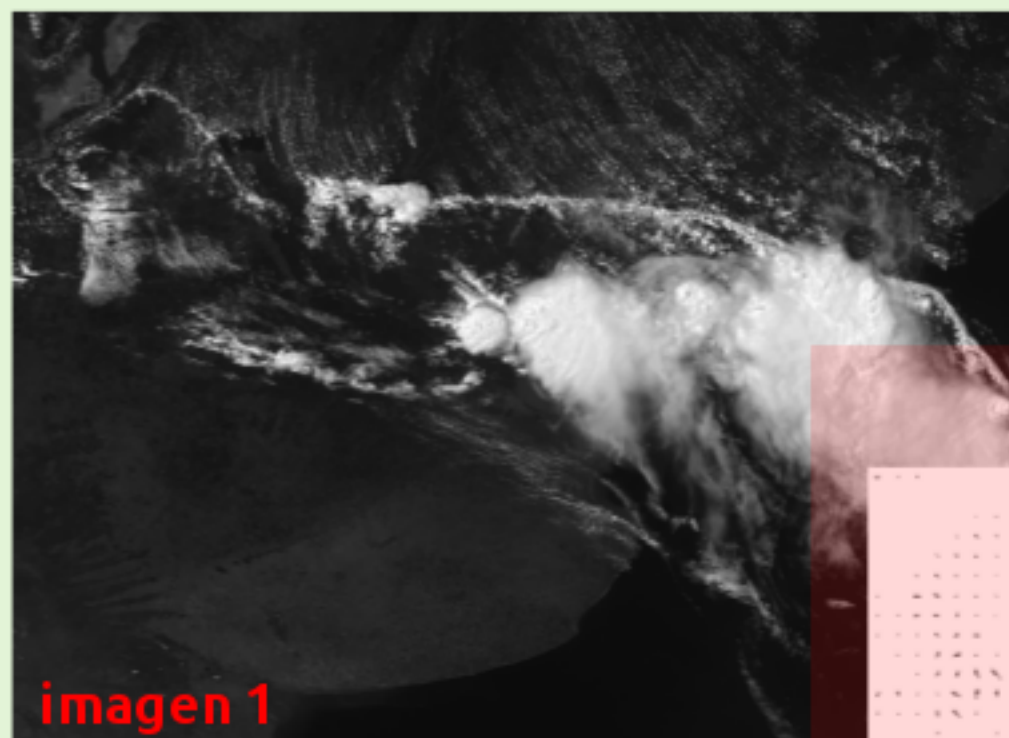
PRONÓSTICO POR SATÉLITE



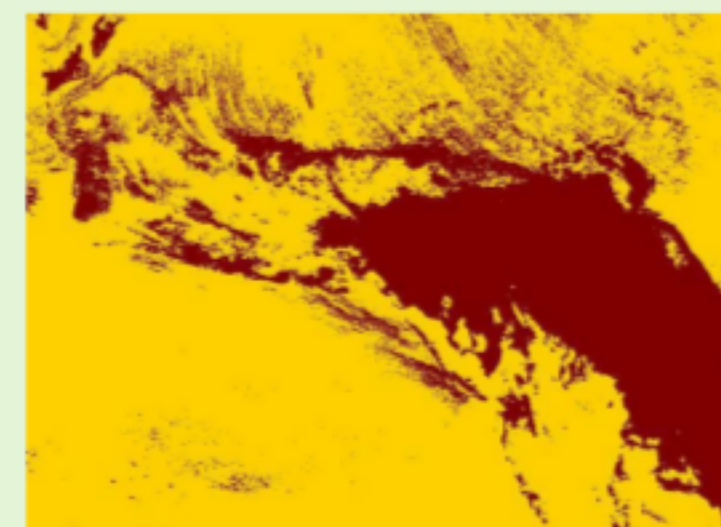
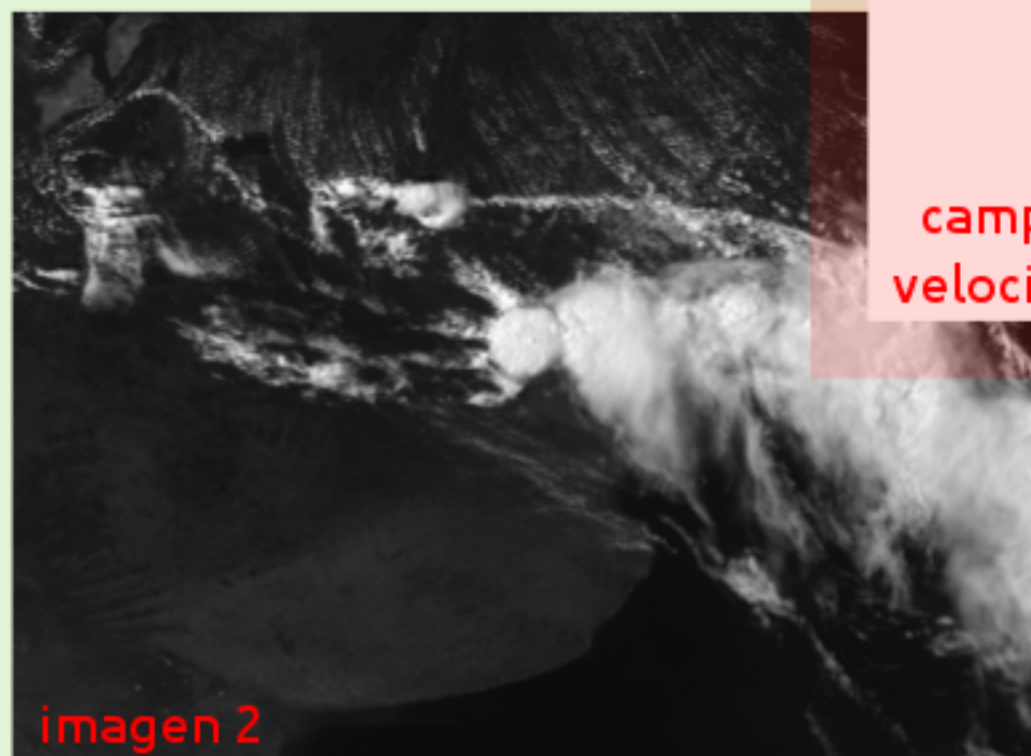
PRONÓSTICO POR SATÉLITE



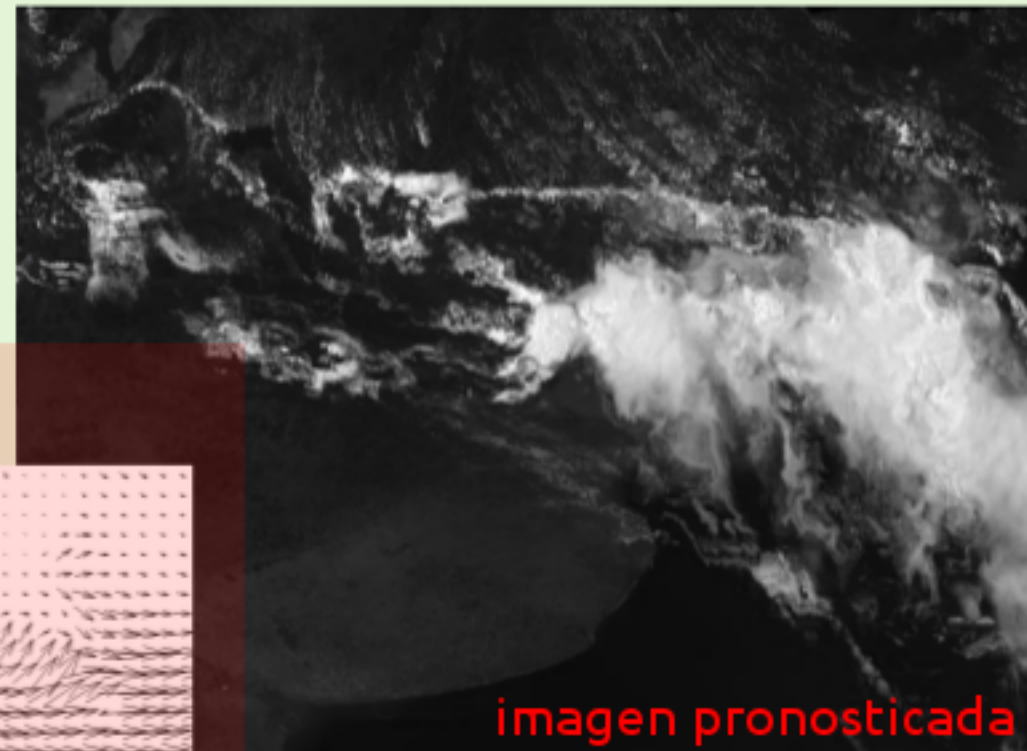
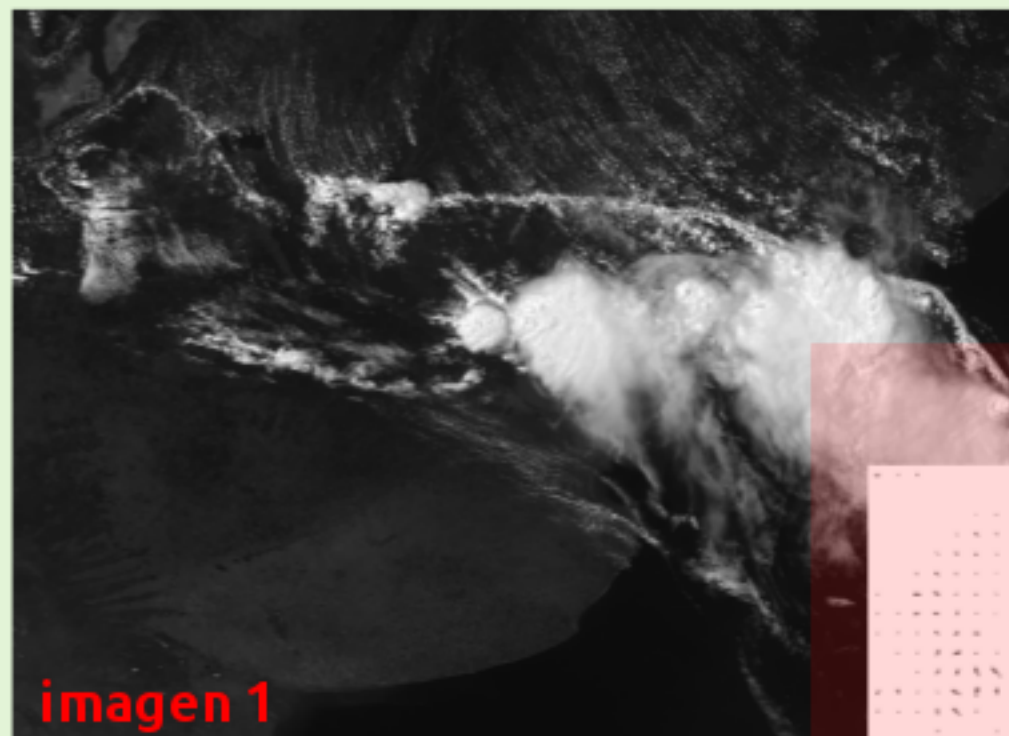
PRONÓSTICO POR SATÉLITE



ELEMENTO CRÍTICO

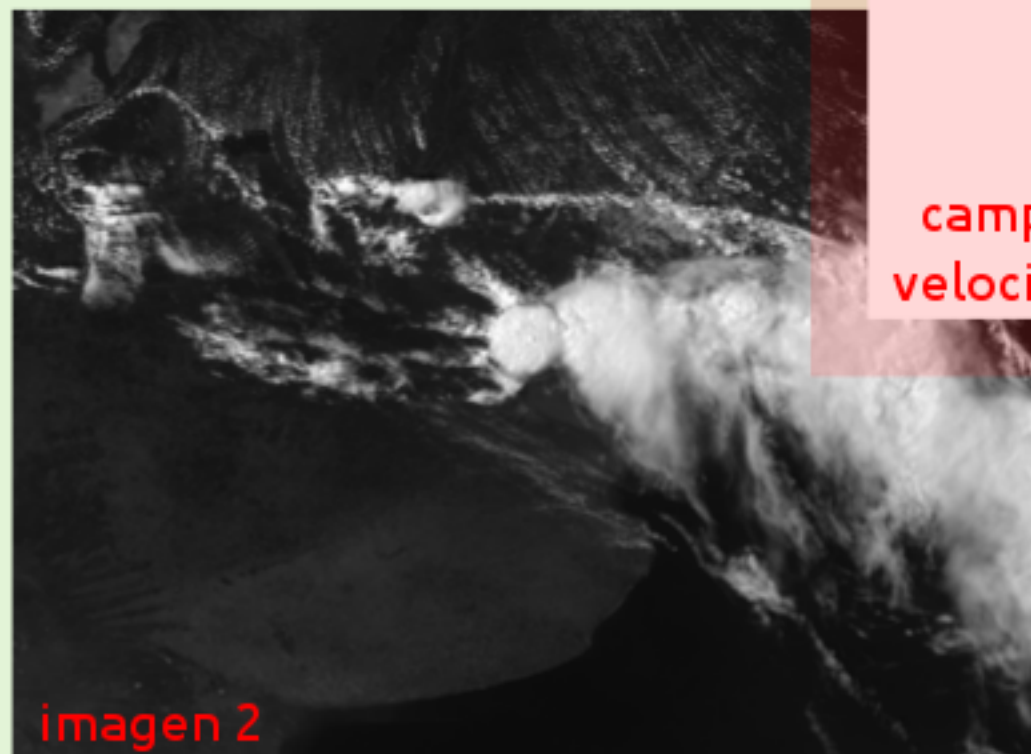


PRONÓSTICO POR SATÉLITE



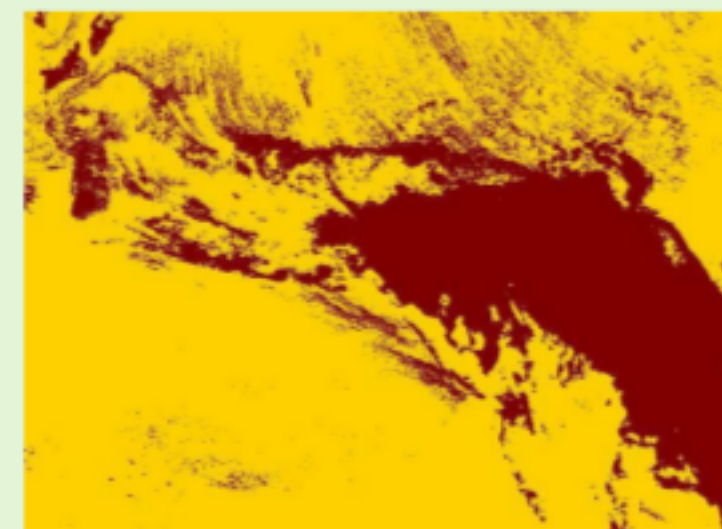
ELEMENTO CRÍTICO

campo de
velocidades



DOS TÉCNICAS PRINCIPALES:
Basada en correlación (Lorenz)
Flujo óptico (con robustez)

Se están probando en Uruguay!



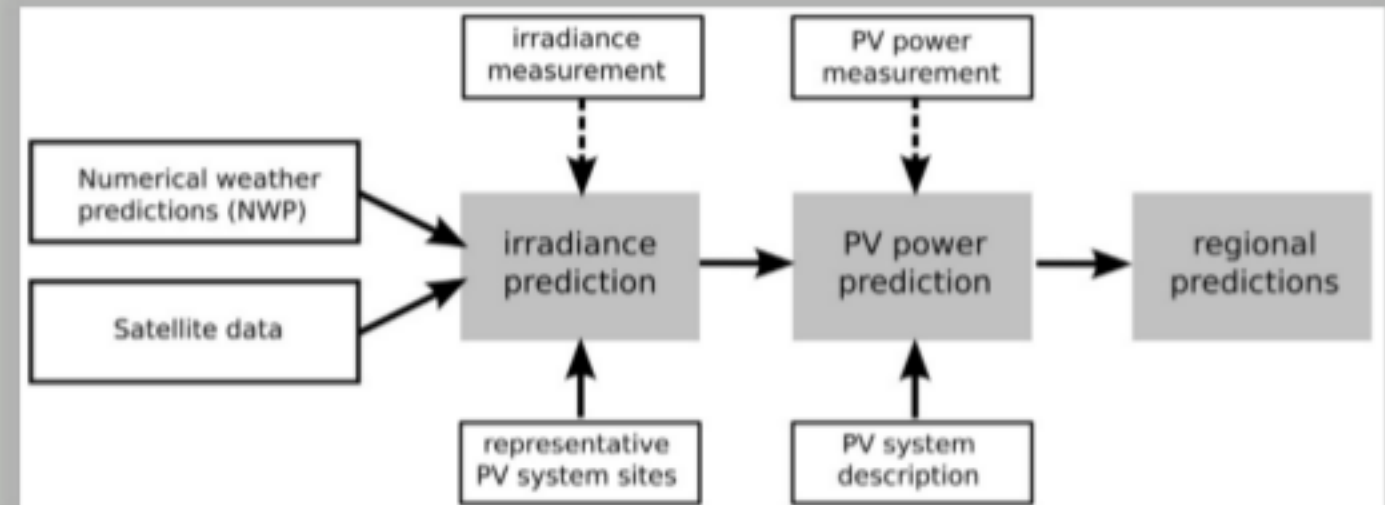
pronóstico solar

ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

Combinación de técnicas

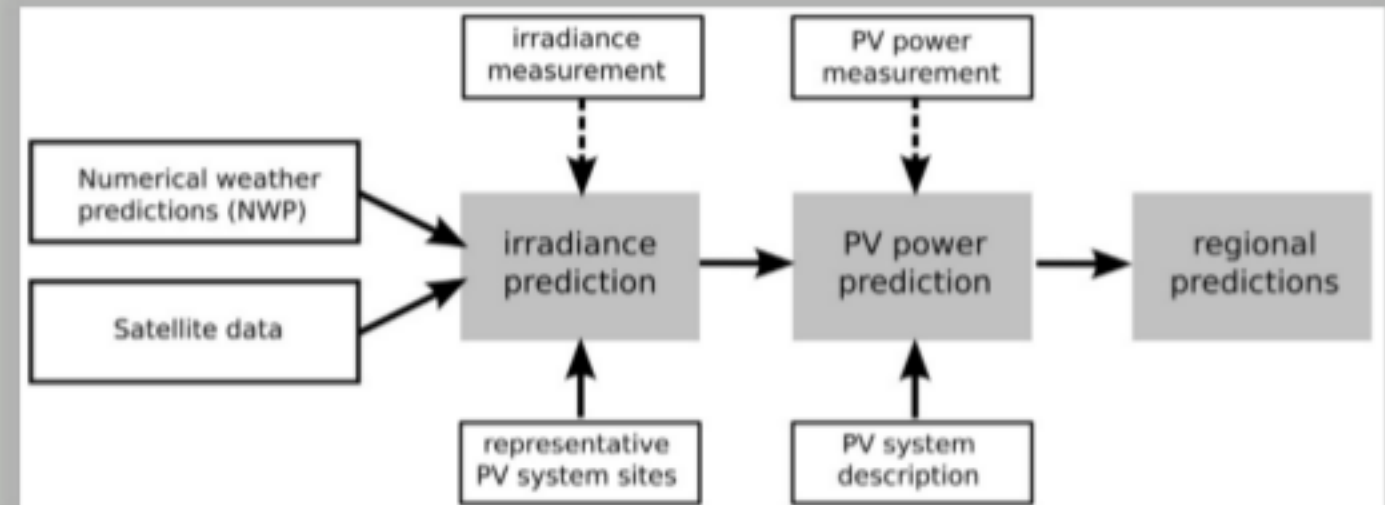
NWP (modelo ECMWF) +
Satélite (CMF + Heliosat) +
Series temporales
 (radiación + generación)



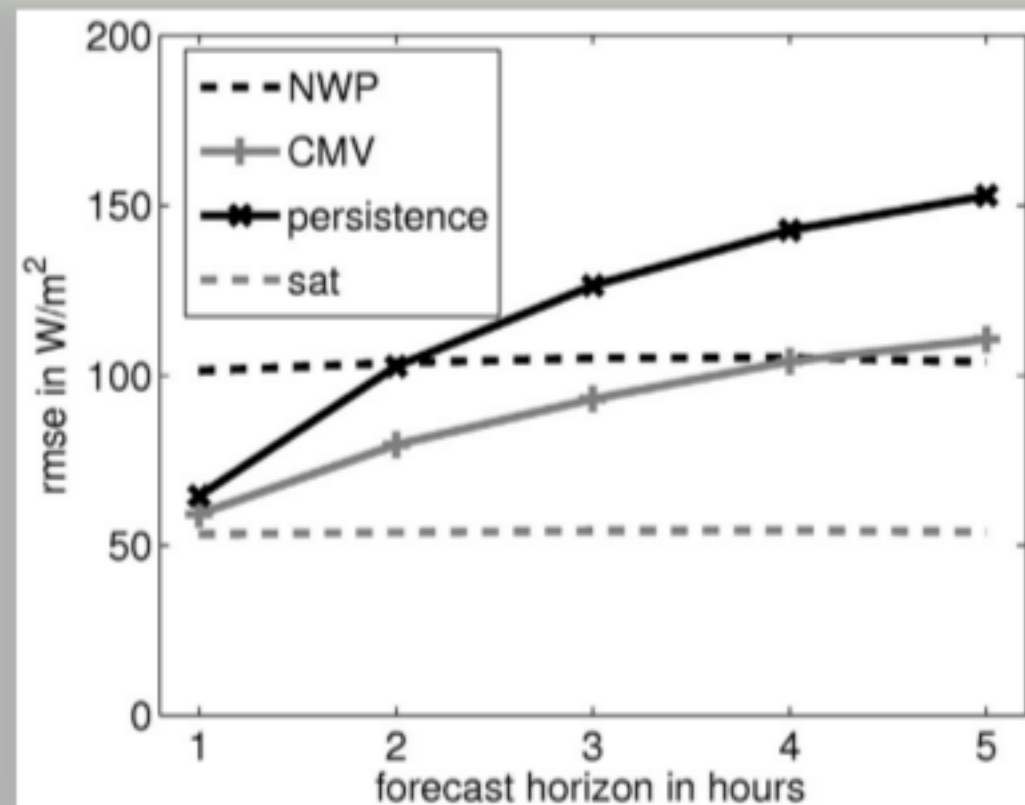
ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

Combinación de técnicas

NWP (modelo ECMWF) +
Satélite (CMF + Heliosat) +
Series temporales
 (radiación + generación)



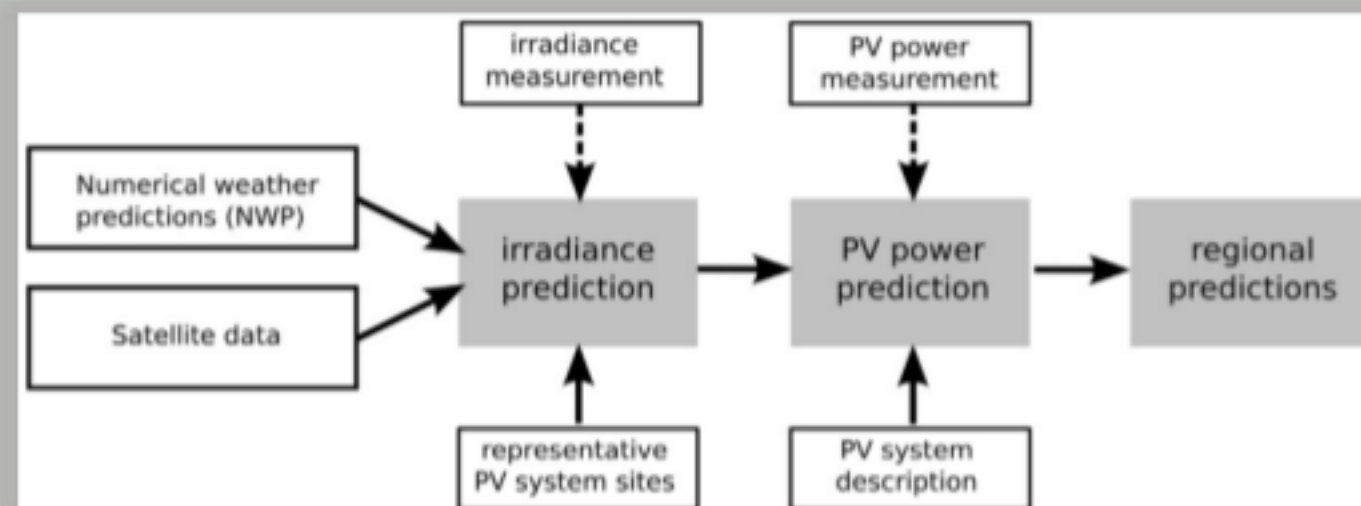
DESEMPEÑO: pronóstico **sitio específico**



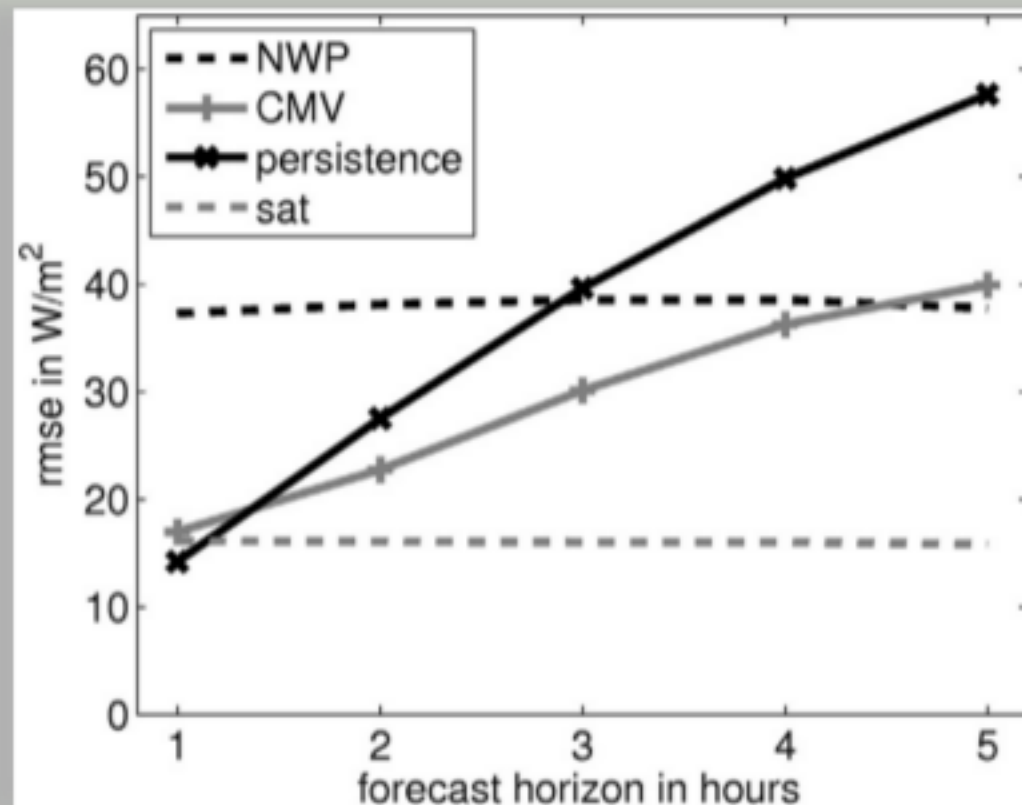
ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

Combinación de técnicas

NWP (modelo ECMWF) +
Satélite (CMF + Heliosat) +
Series temporales
 (radiación + generación)



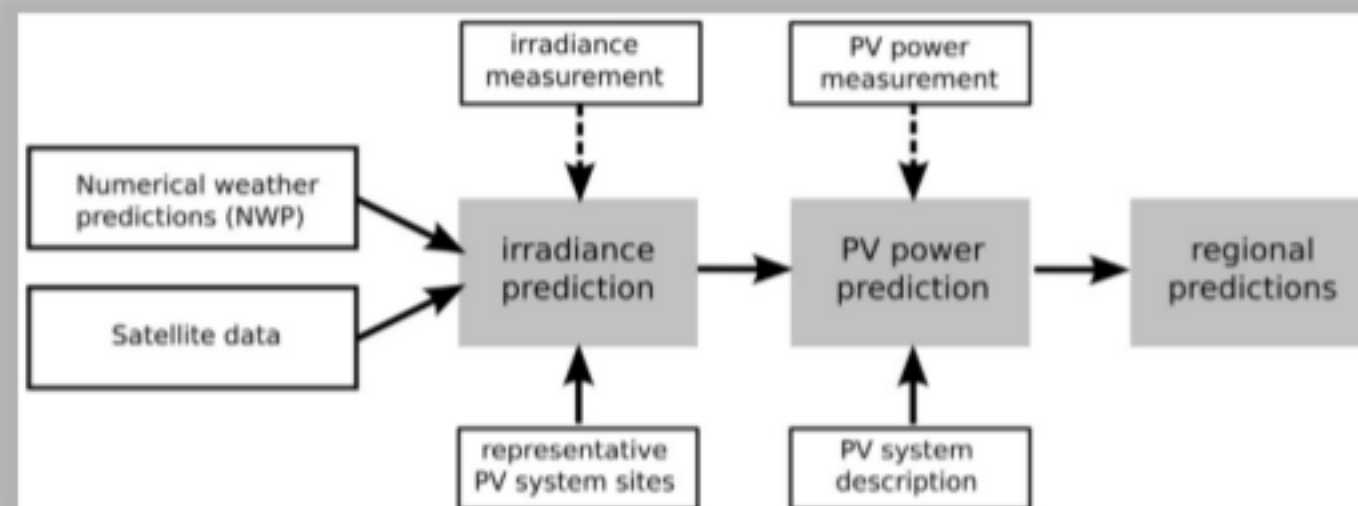
DESEMPEÑO: pronóstico **regional**



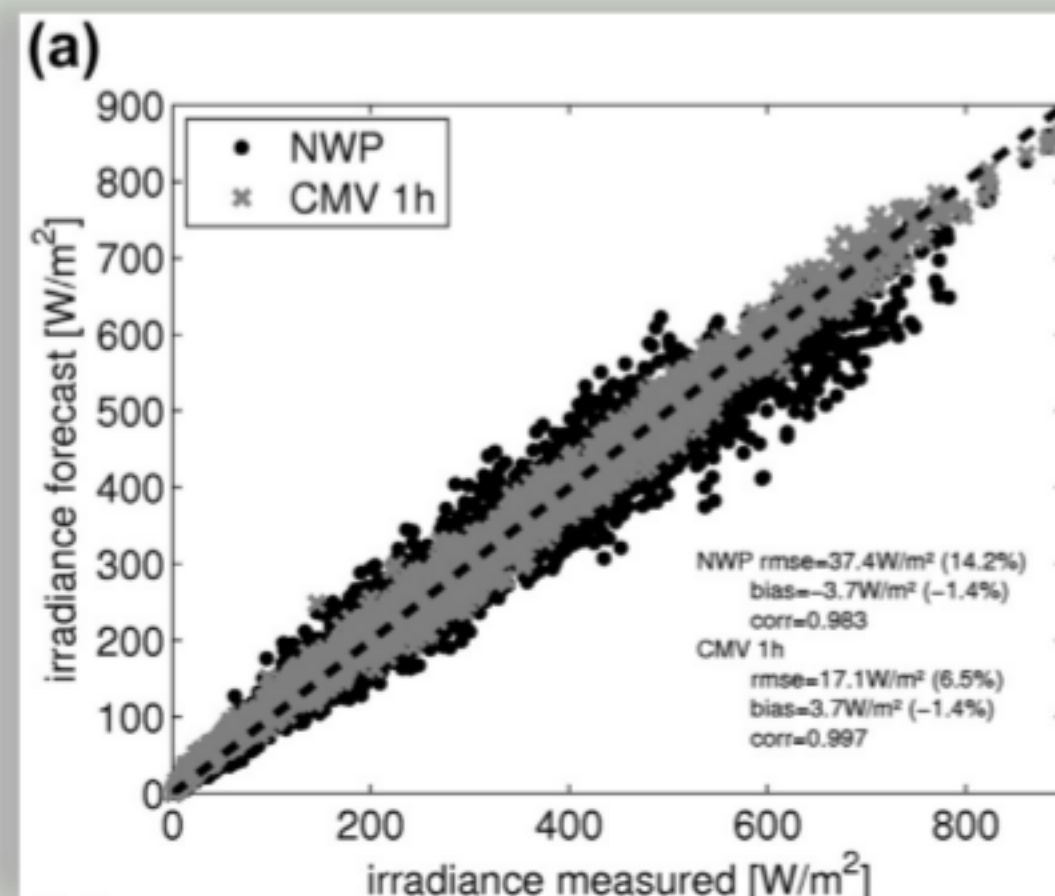
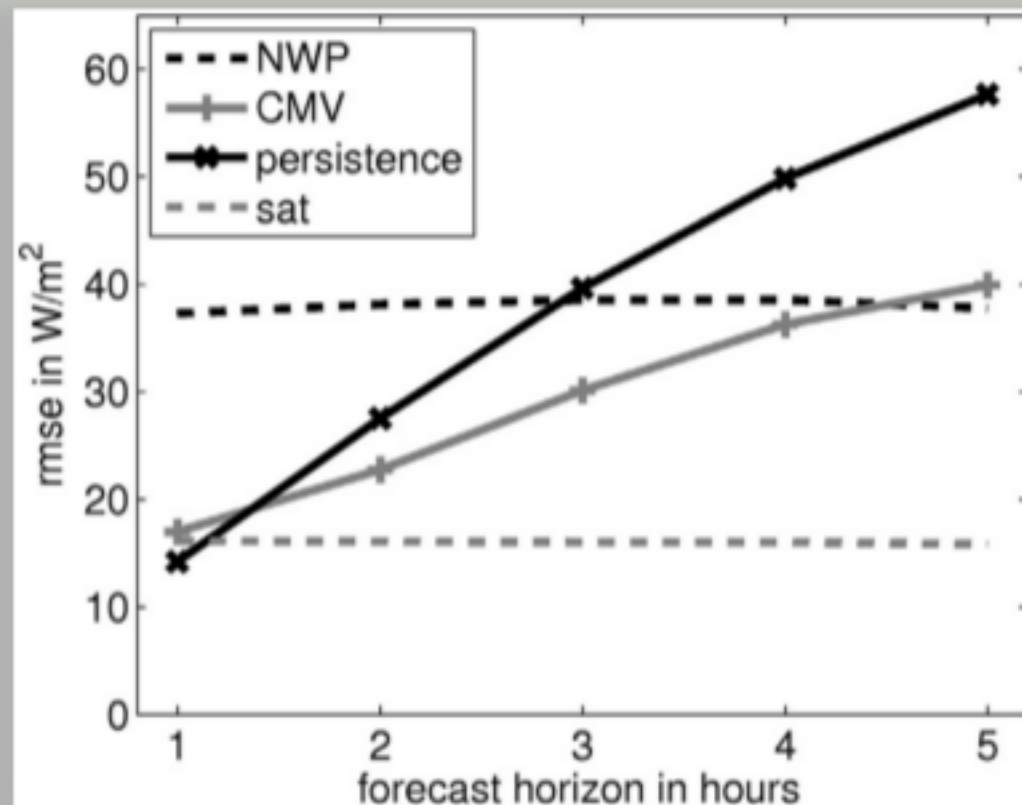
ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

Combinación de técnicas

NWP (modelo ECMWF) +
Satélite (CMF + Heliosat) +
Series temporales
(radiación + generación)



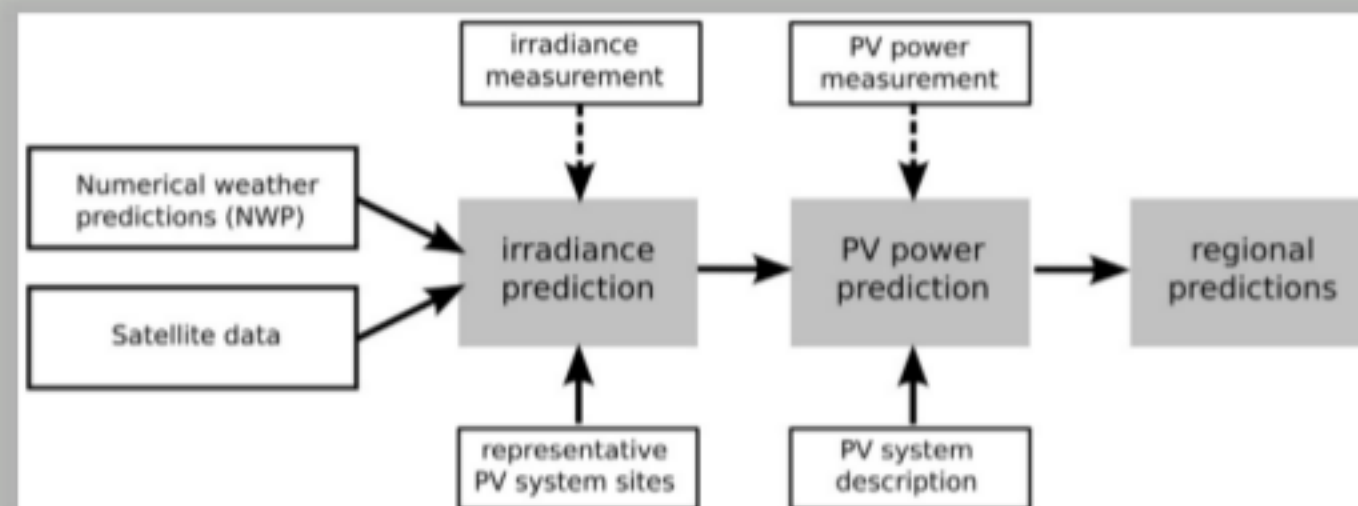
DESEMPEÑO: pronóstico **regional**



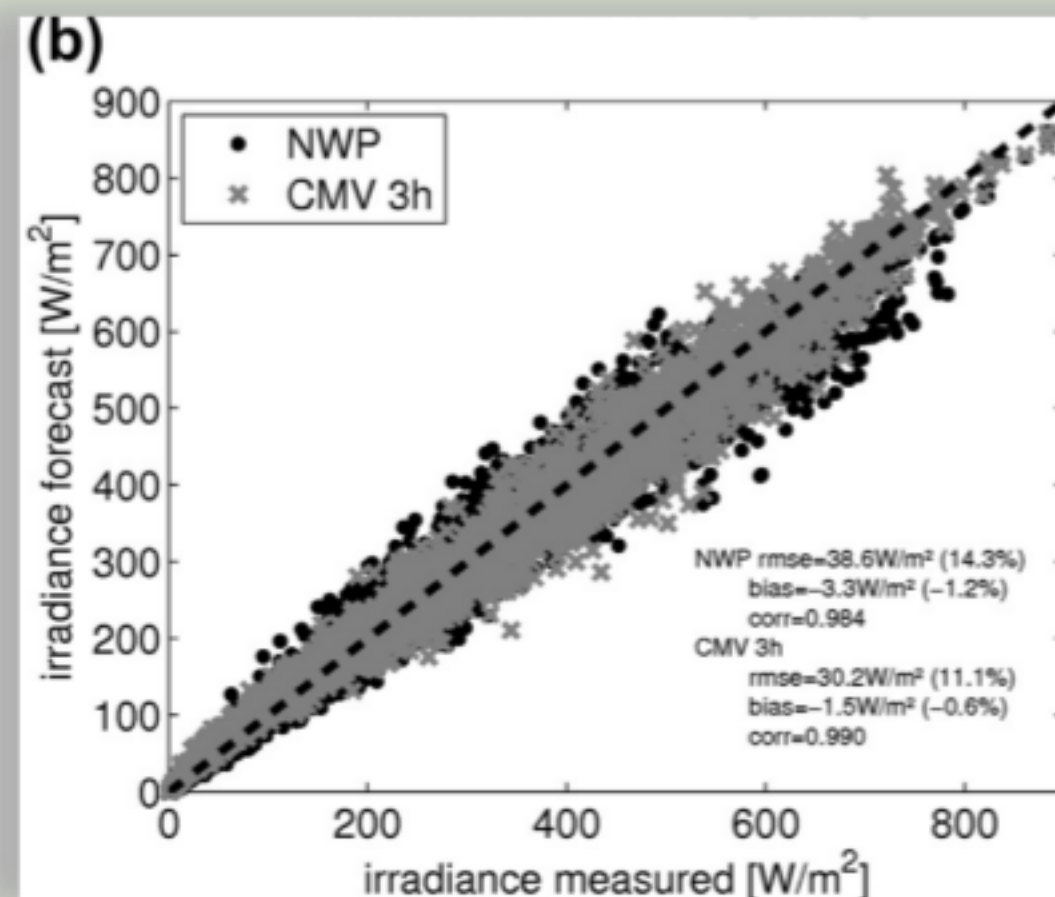
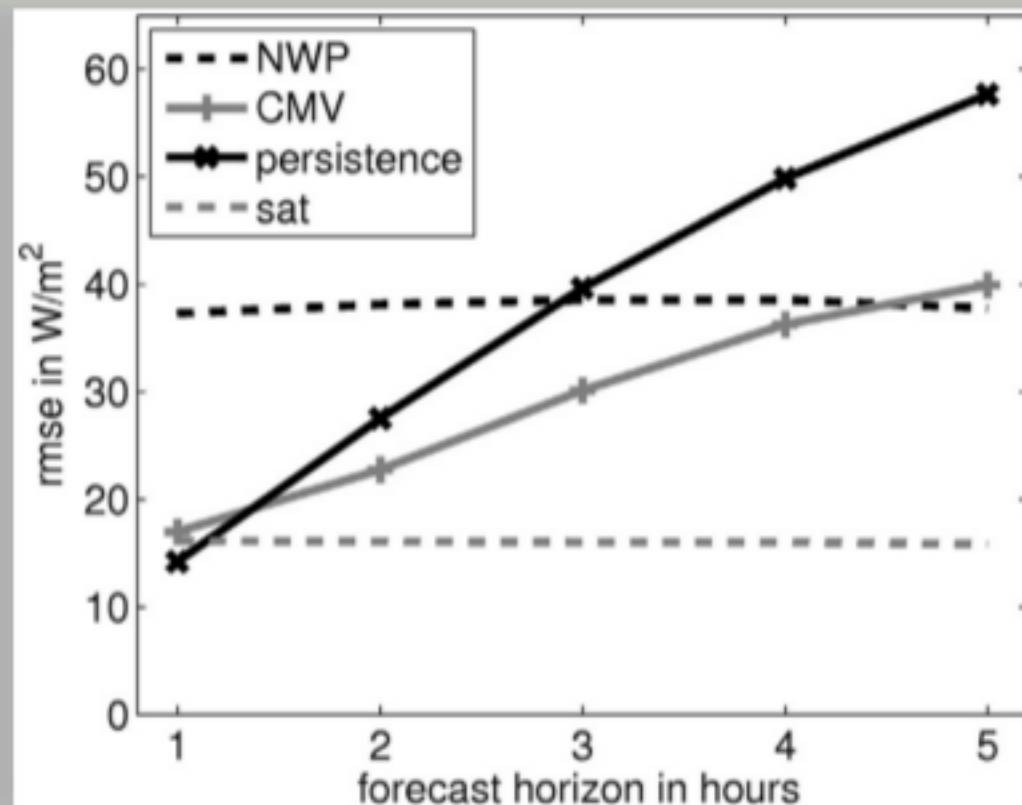
ANTECEDENTES: Sistema de pronóstico alemán

Combinación de técnicas

NWP (modelo ECMWF) +
Satélite (CMF + Heliosat) +
Series temporales
(radiación + generación)



DESEMPEÑO: pronóstico **regional**



PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

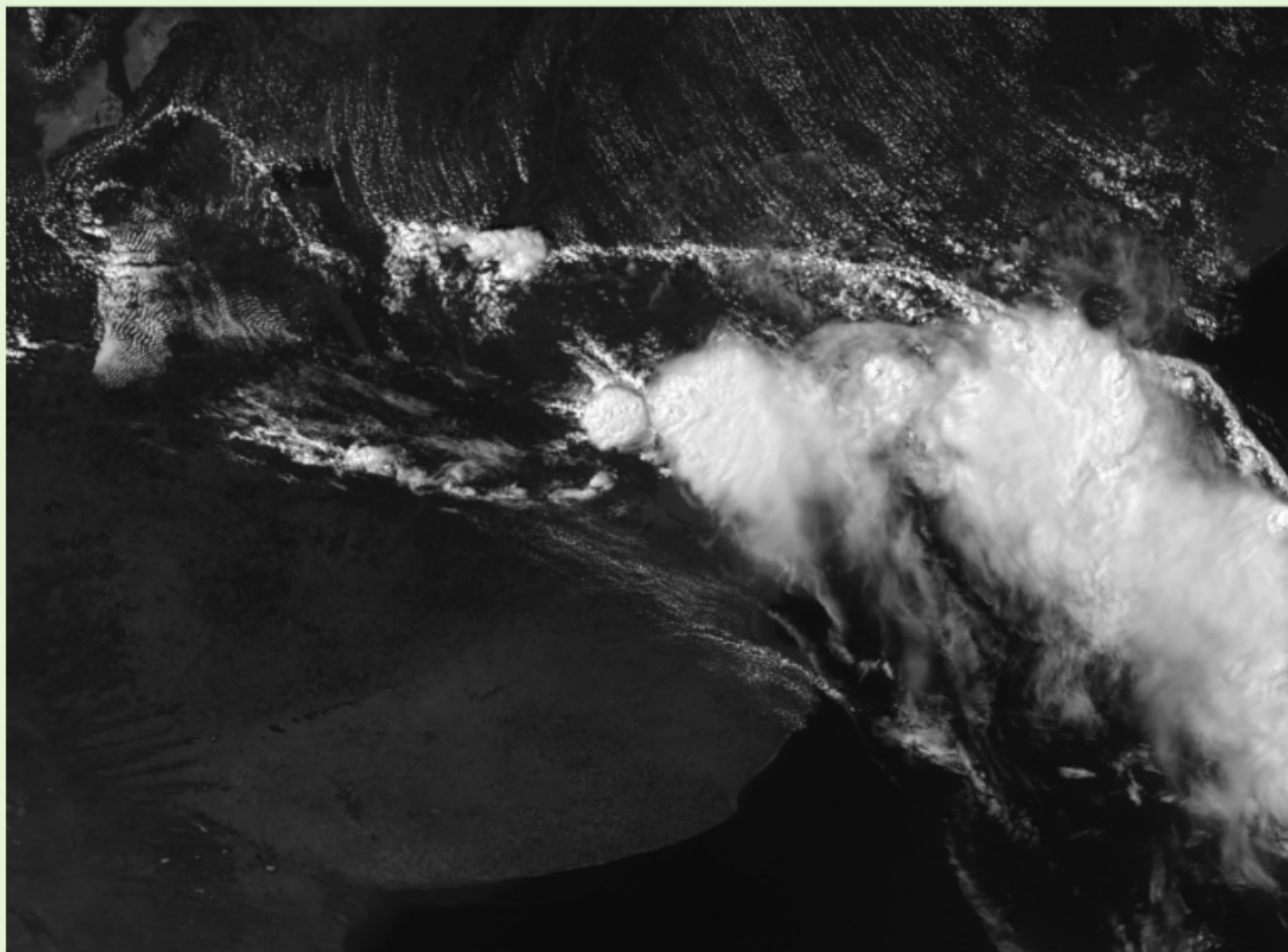


IMAGEN
1

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

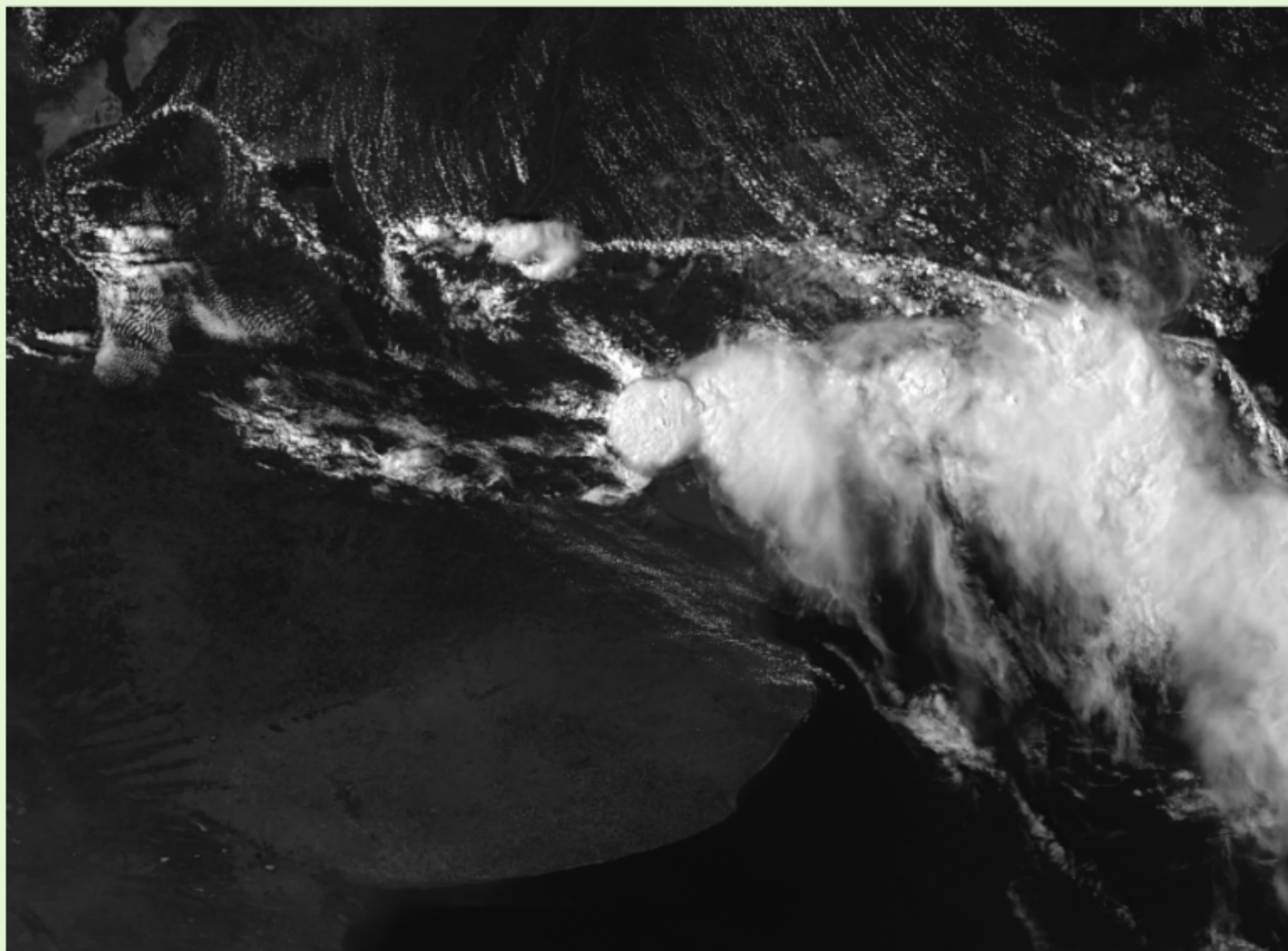


IMAGEN
2

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

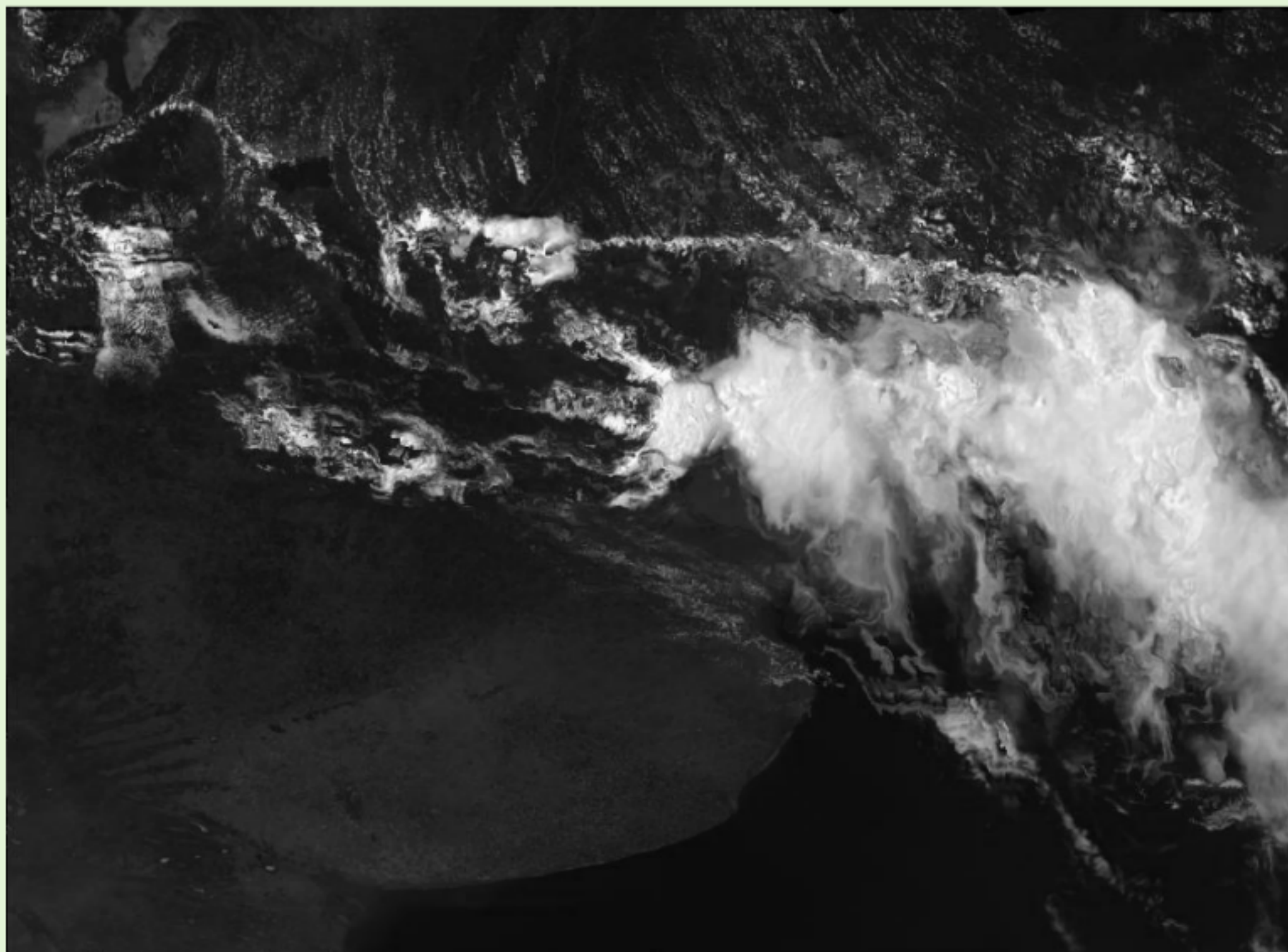


IMAGEN
PREDICHA

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

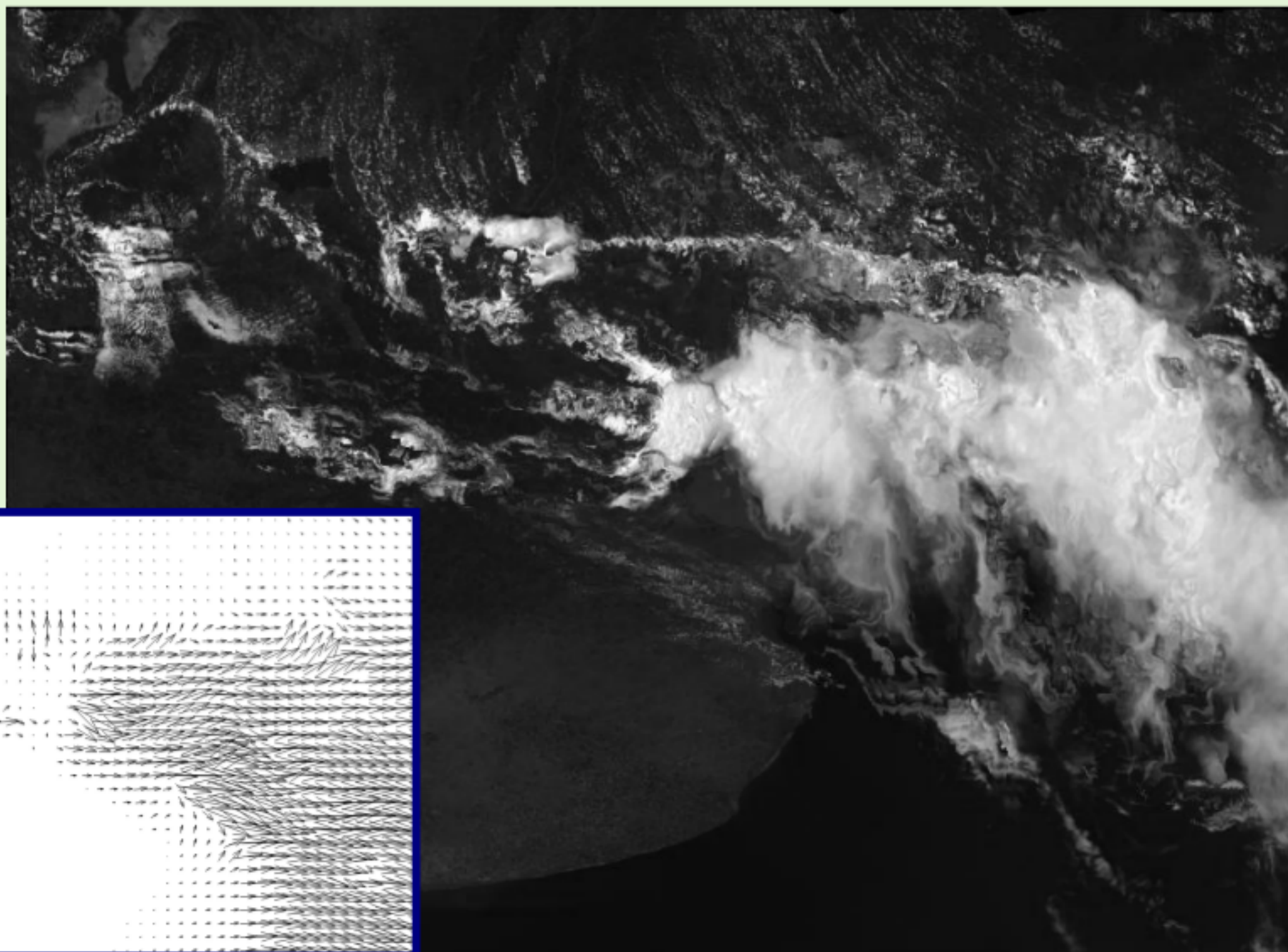


IMAGEN
PREDICHA

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

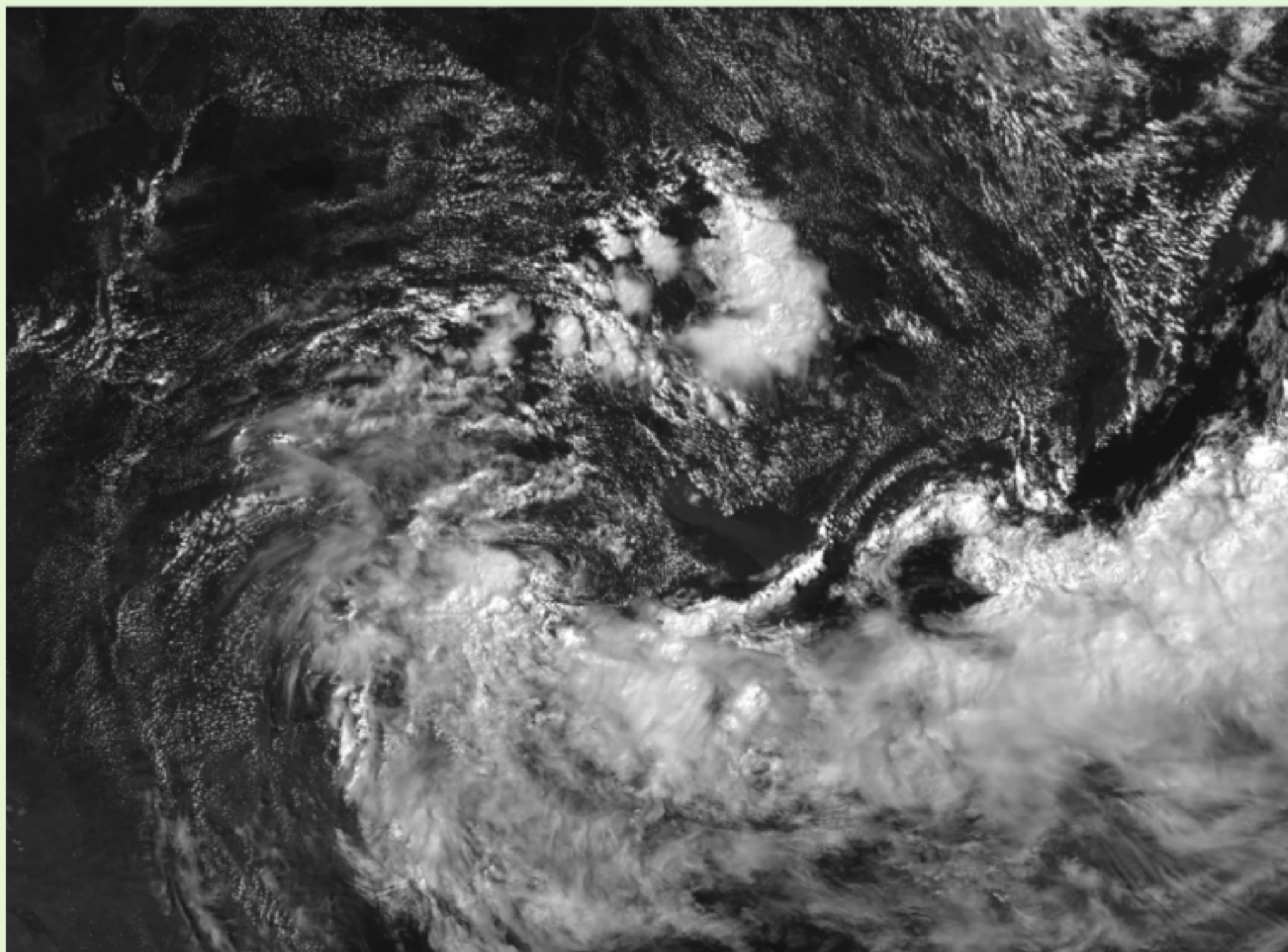


IMAGEN
1

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)



IMAGEN
2

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

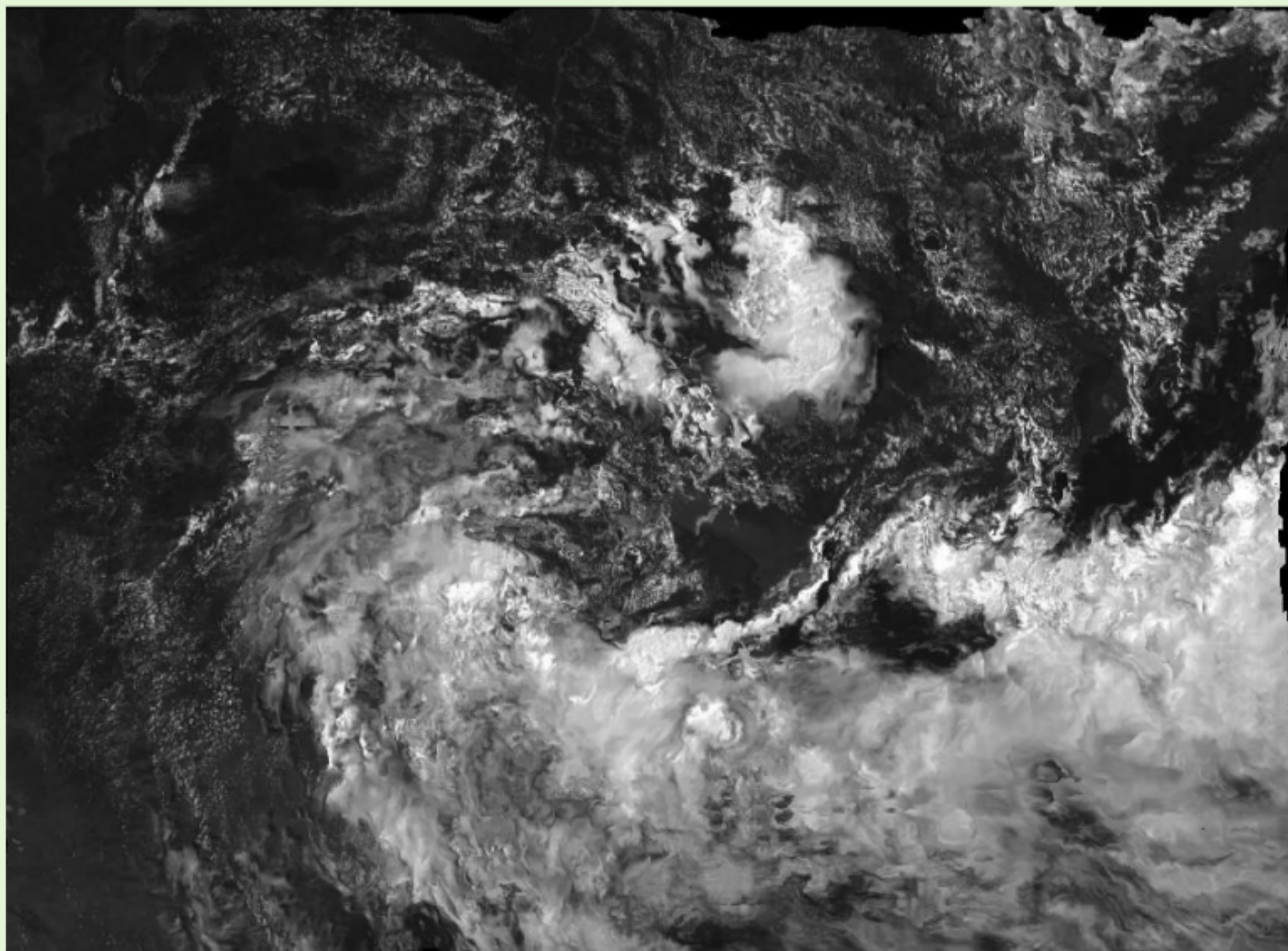


IMAGEN
PREDICHA

PRONÓSTICO POR SATÉLITE (algunas capacidades)

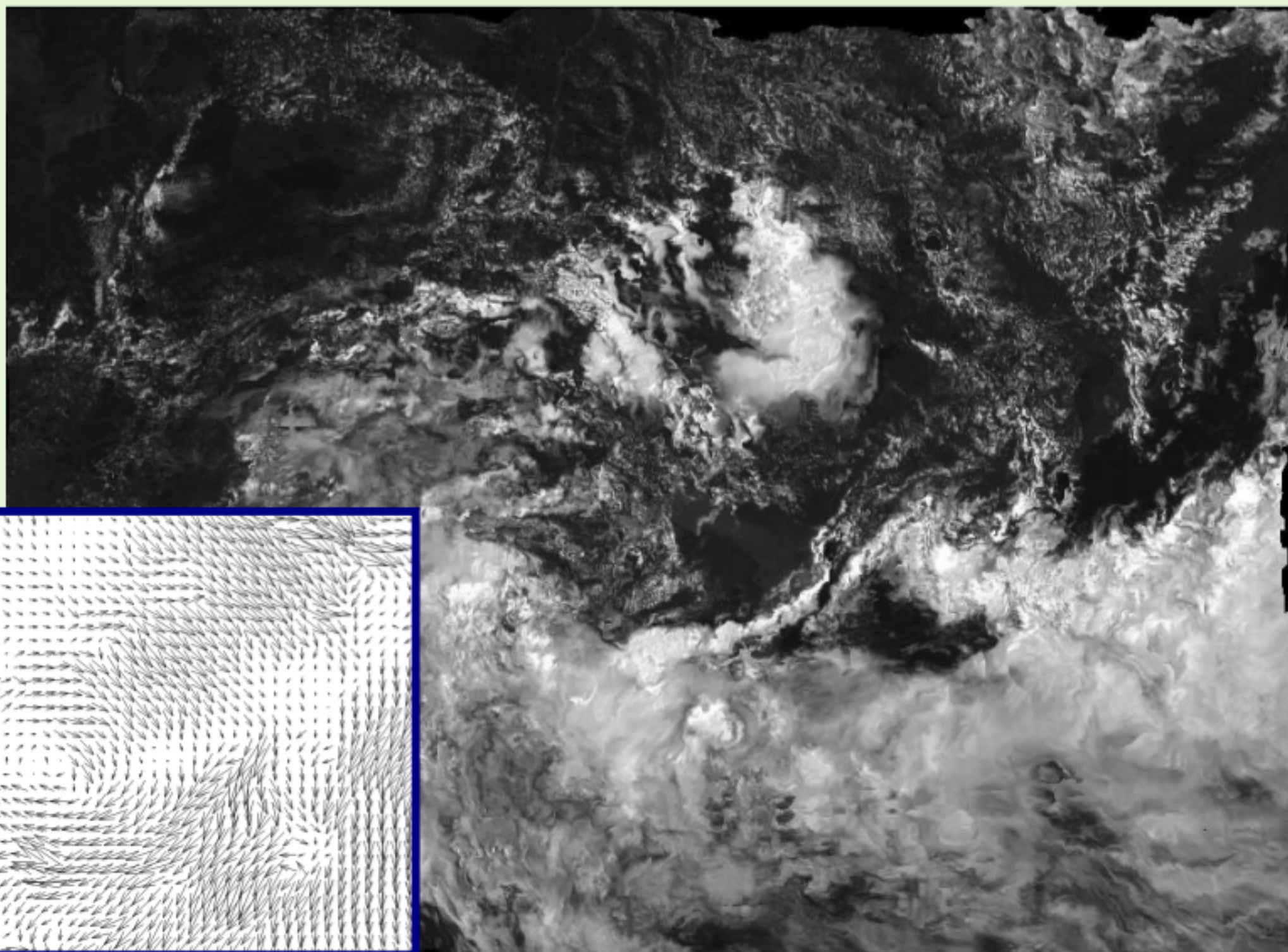


IMAGEN
PREDICHA

PRONÓSTICO POR CÁMARAS TODO-CIELO

Desde 2014 está instalada una estación all sky en el LES



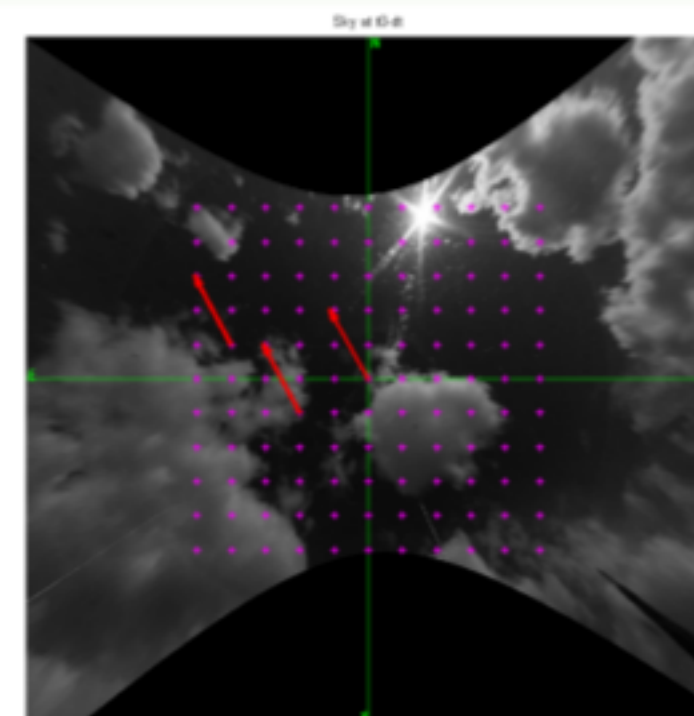
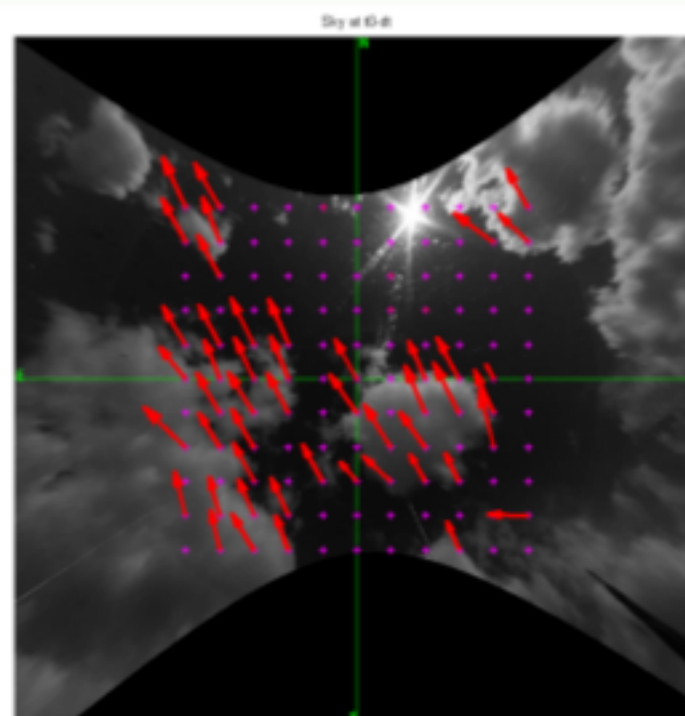
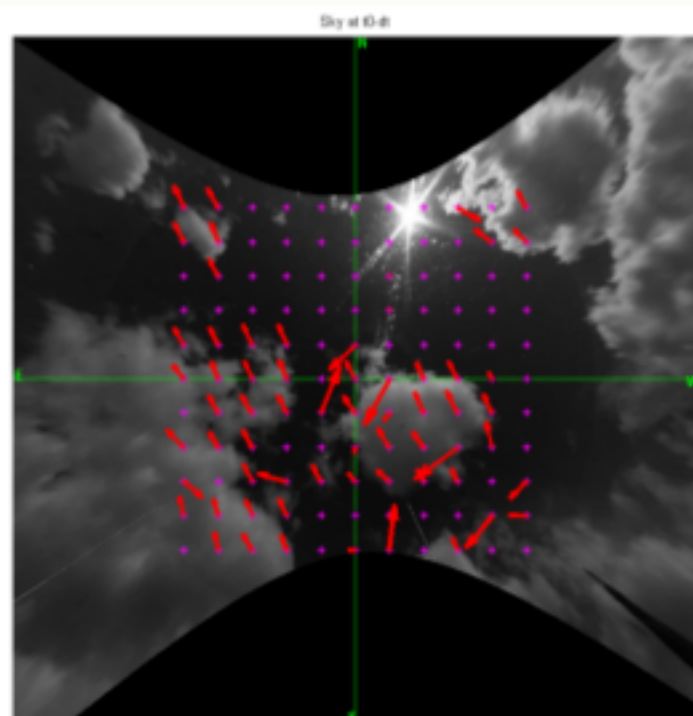
AVANCE 2016-2017:

- Estación all sky co-localizada con equipos Solys2 de LES (medida de alta calidad, incerteza 2%).
- Evaluación de incerteza para el pronóstico de muy corto plazo de GHI (de 3 a 10 minutos).
- Desarrollo y evaluación del pronóstico de "rampas" (gran variación de recurso en pocos minutos).
- Combinar series temporales de GHI con imágenes (modelado de la irradiancia minutal).

PRONÓSTICO POR CÁMARAS TODO-CIELO

Detección de nubes (umbralización basada en RBR)

Estimación del desplazamiento medio de las nubes (CMF por cámaras de cielo)



PRONÓSTICO POR CÁMARAS TODO-CIELO

Detección de nubes (umbralización basada en RBR)

Estimación del desplazamiento medio de las nubes (CMF por cámaras de cielo)

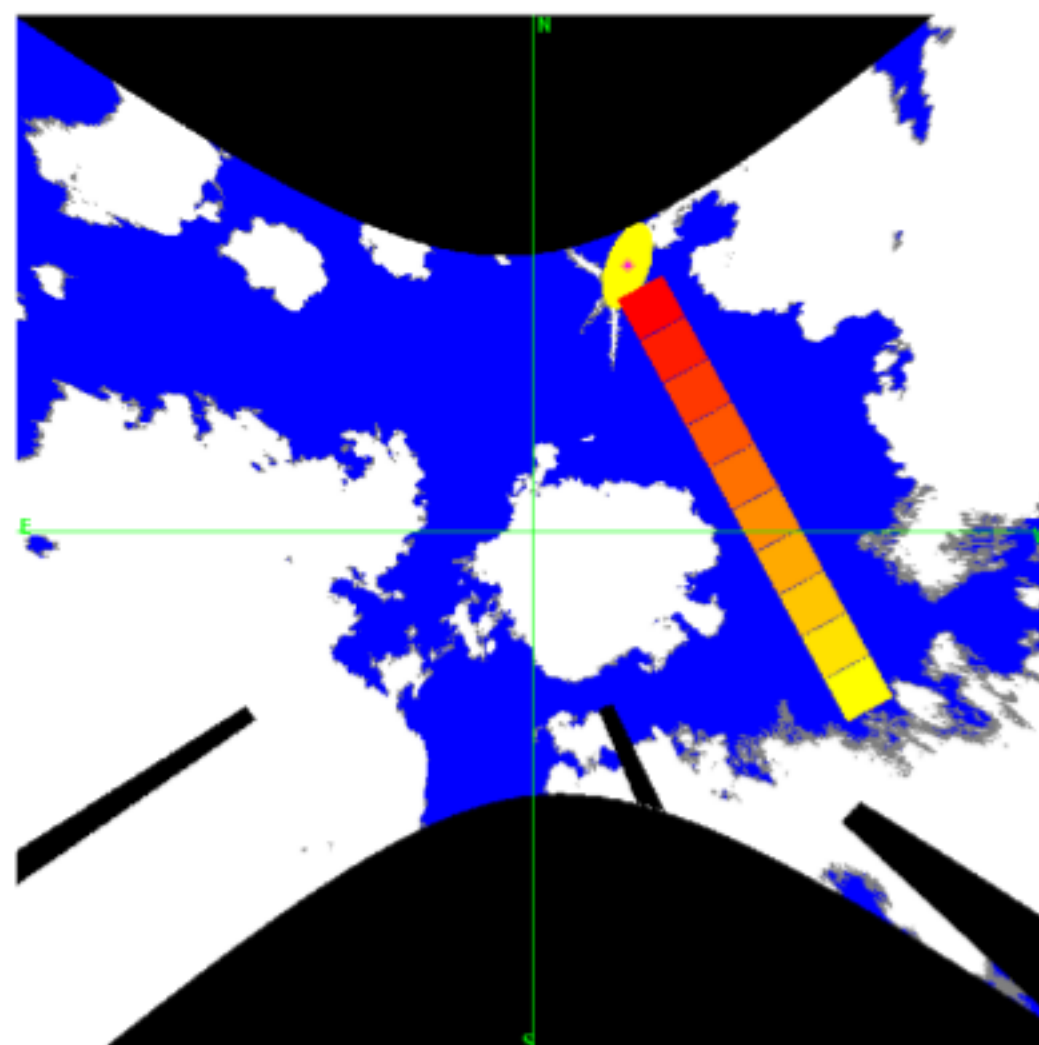
MÉTODO DE PRONÓSTICO:

Construcción de grilla (ladder)

Predicción de índice de cielo claro
(requiere el ajuste de un modelo de cielo claro)

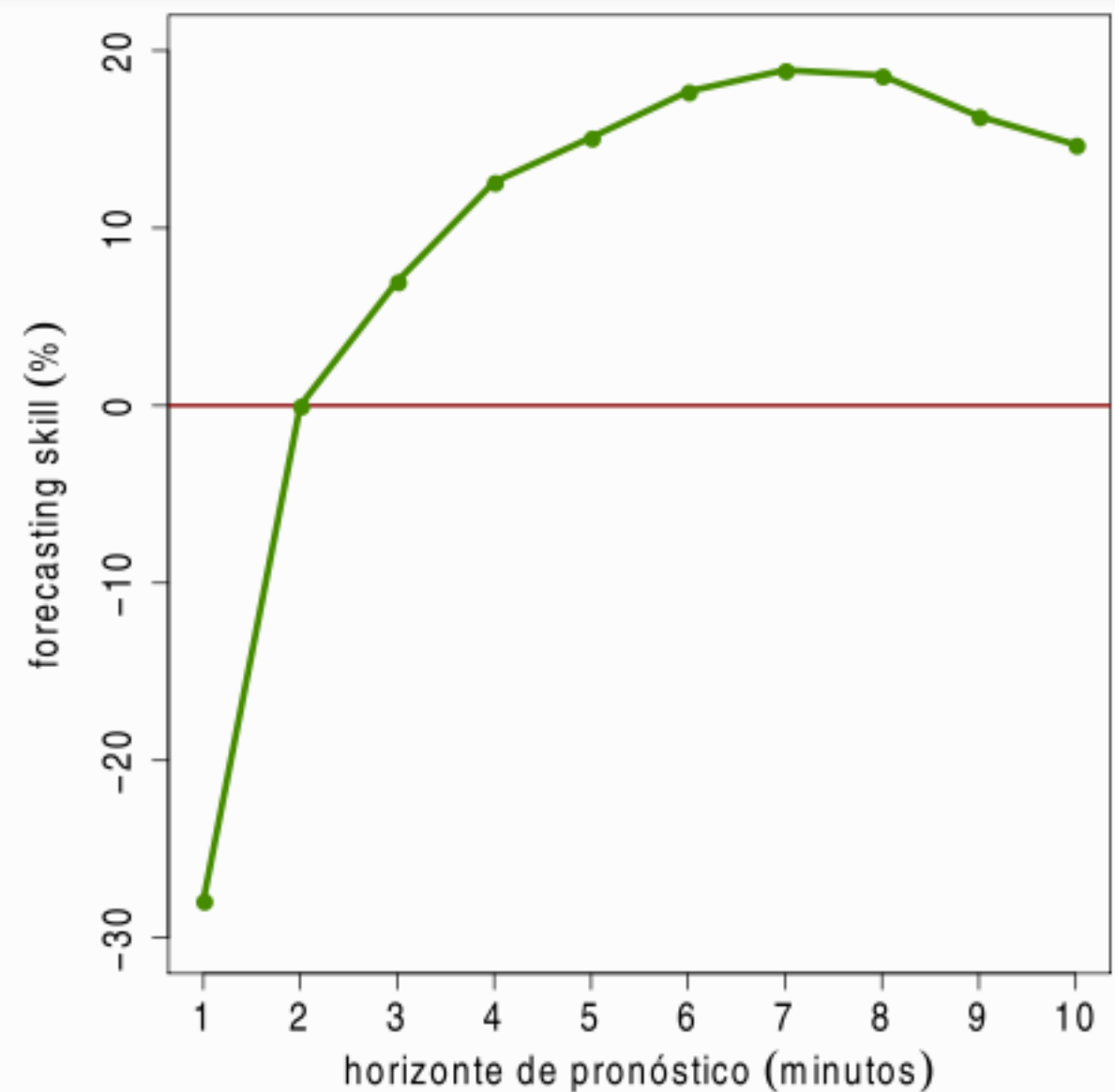
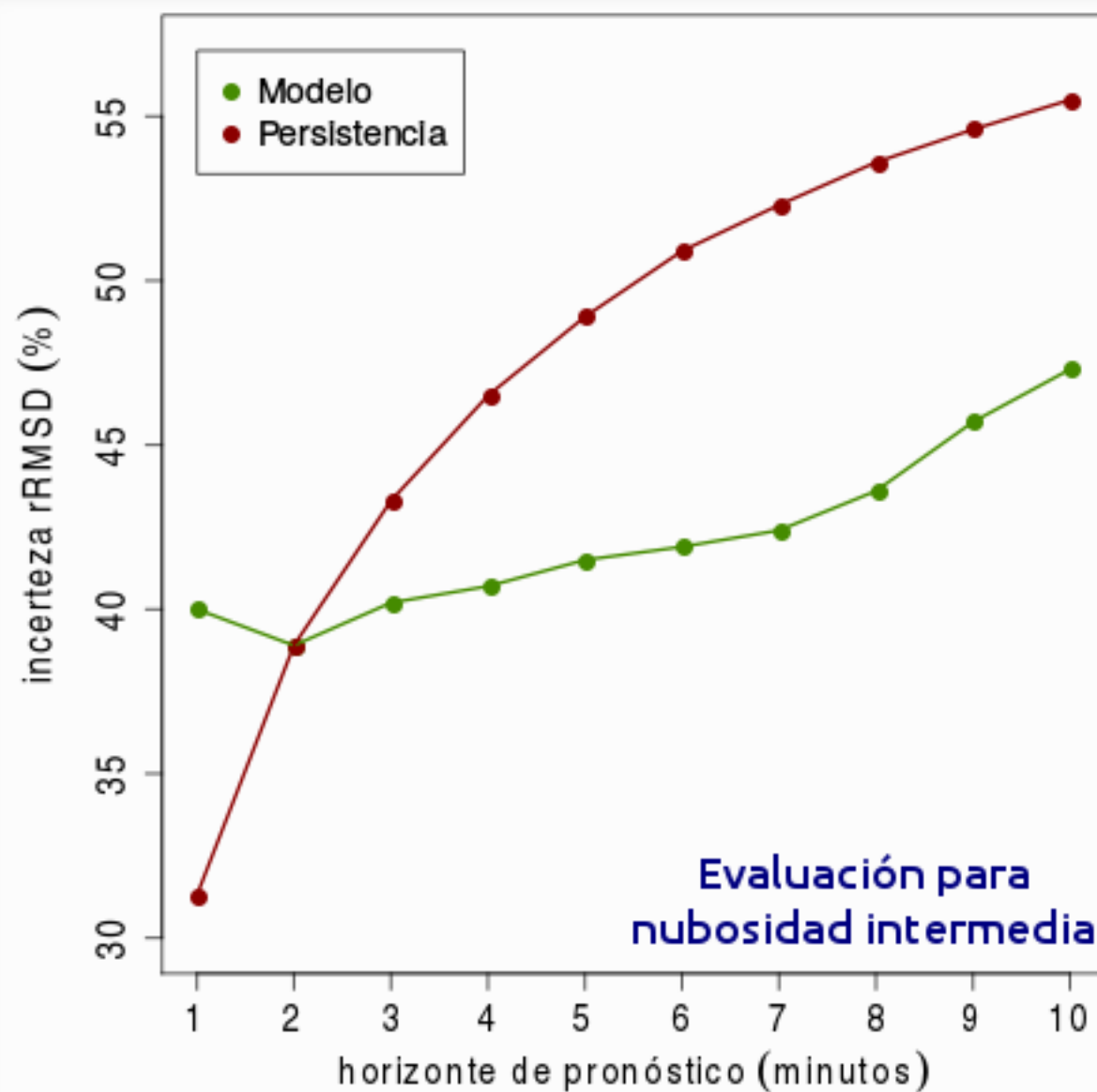
Predicción de GHI

Se propuso una metodología
novedosa pendiente de
publicación (en redacción)



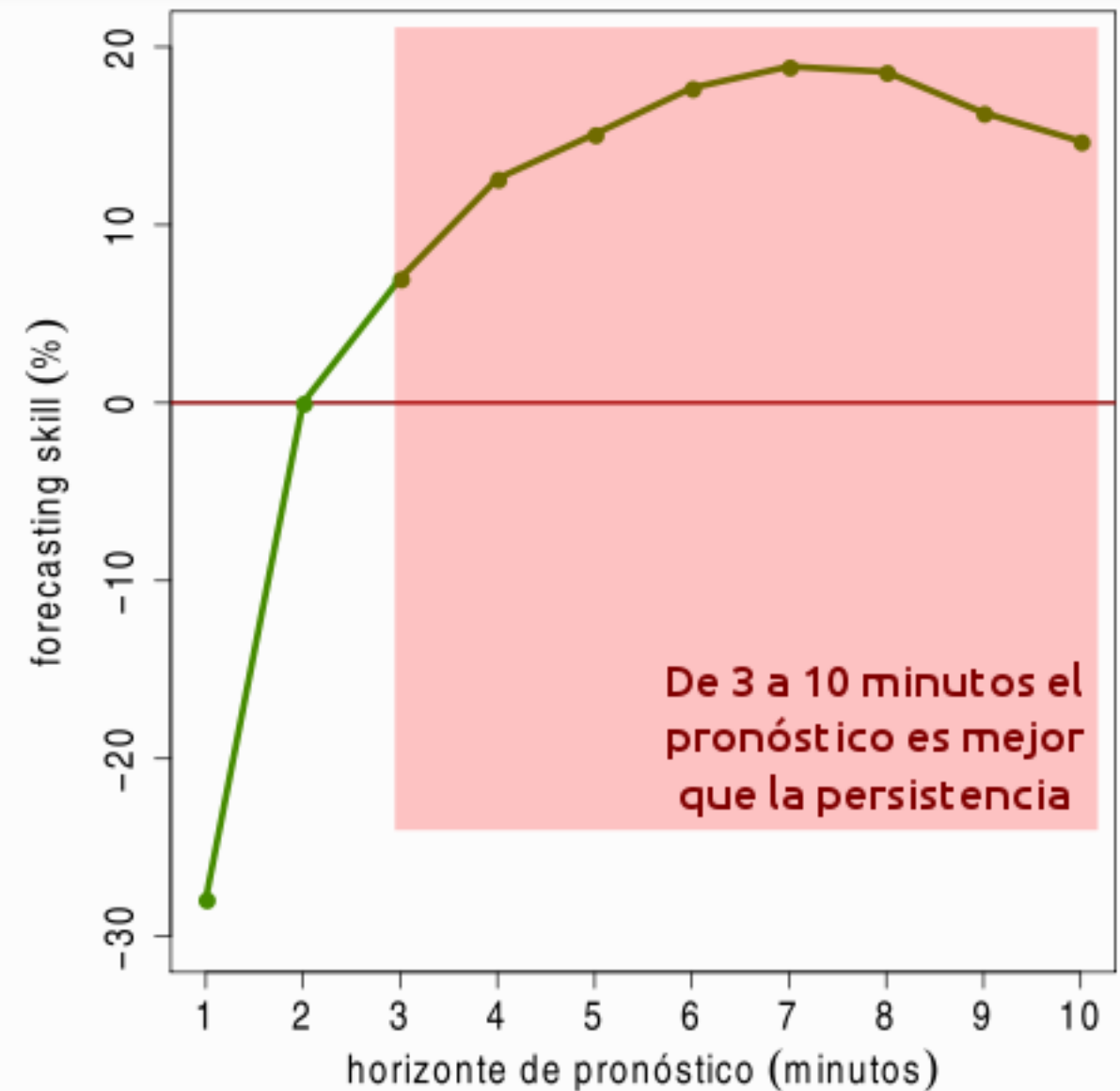
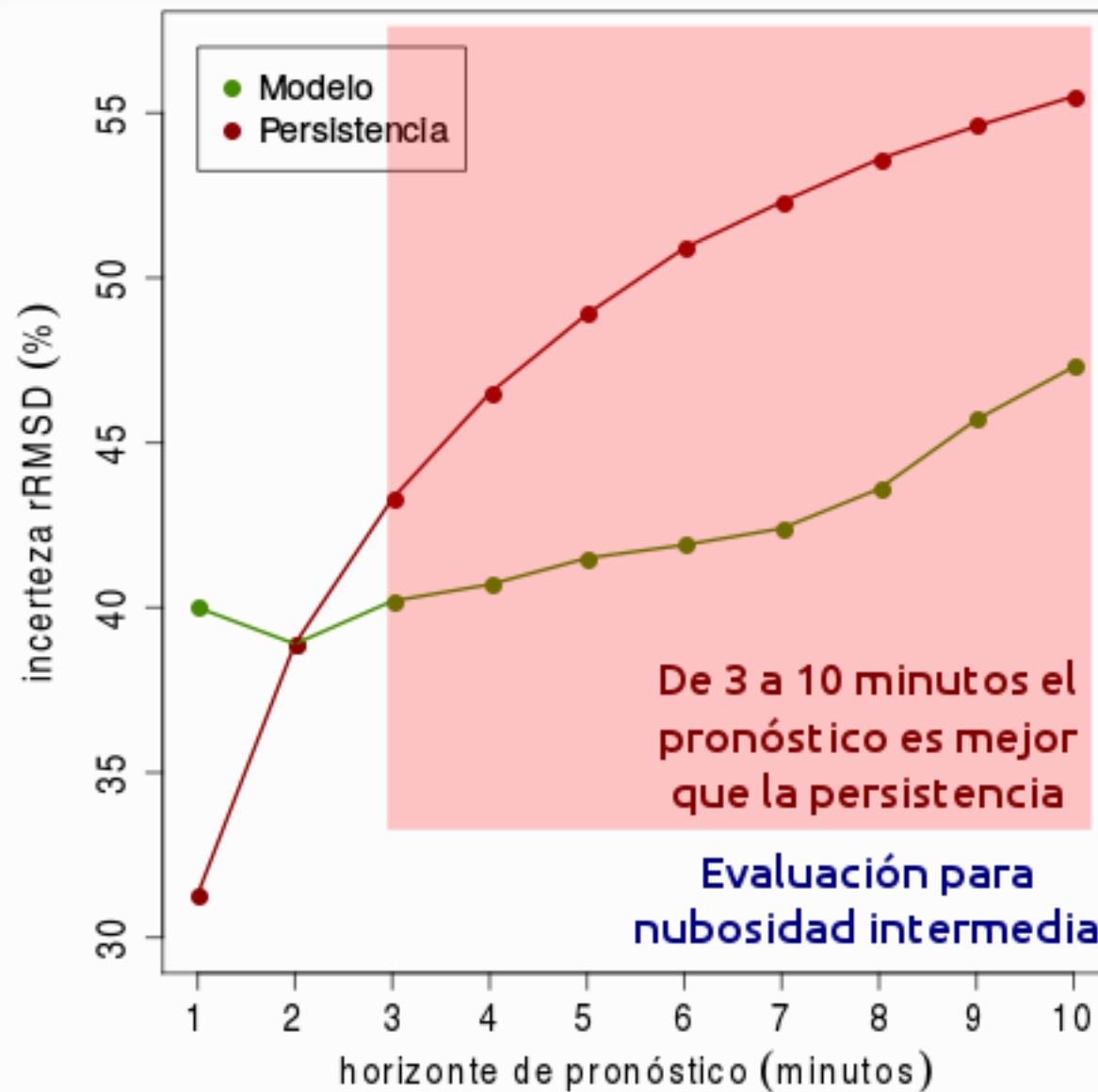
PRONÓSTICO POR CÁMARAS TODO-CIELO

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

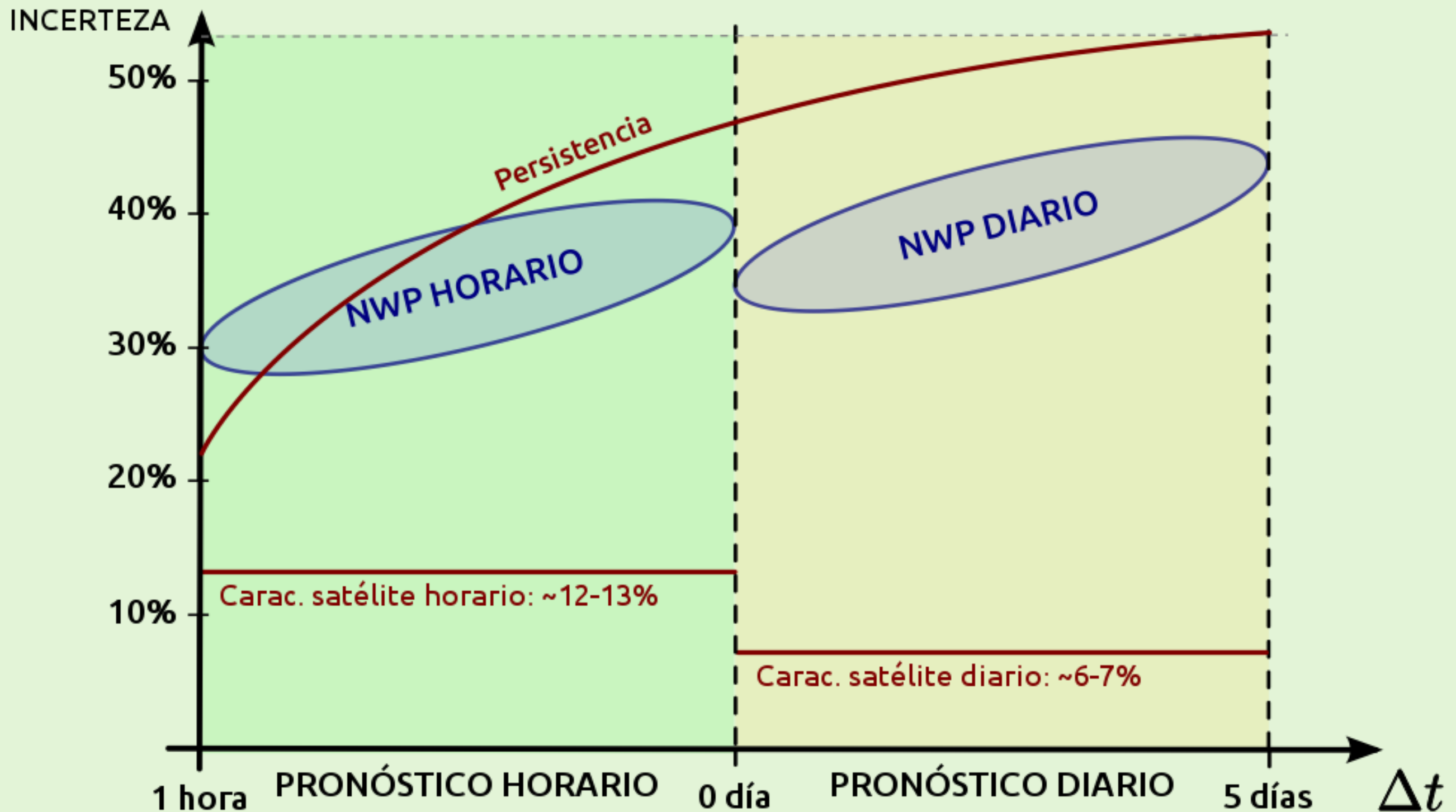


PRONÓSTICO POR CÁMARAS TODO-CIELO

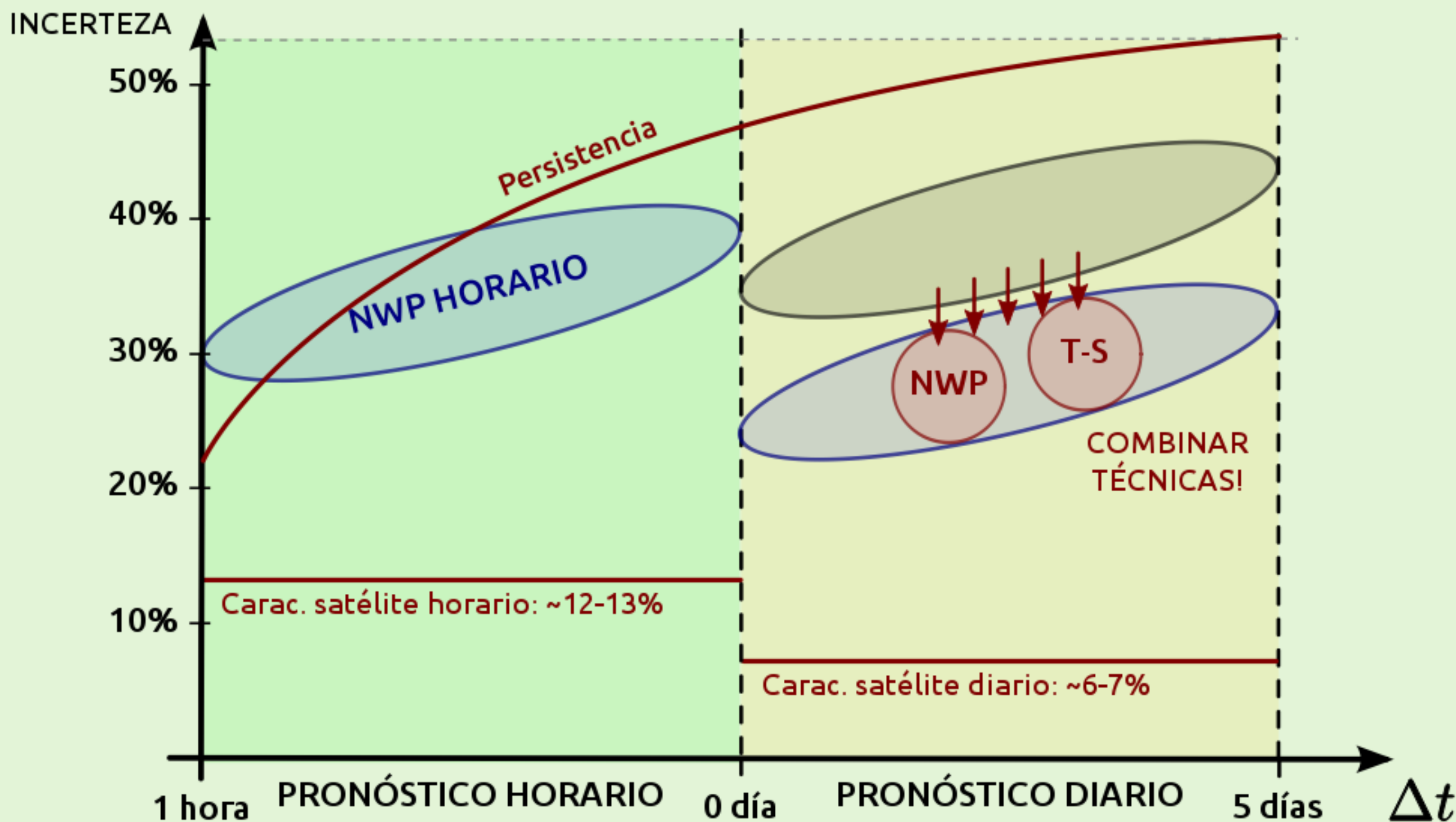
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO



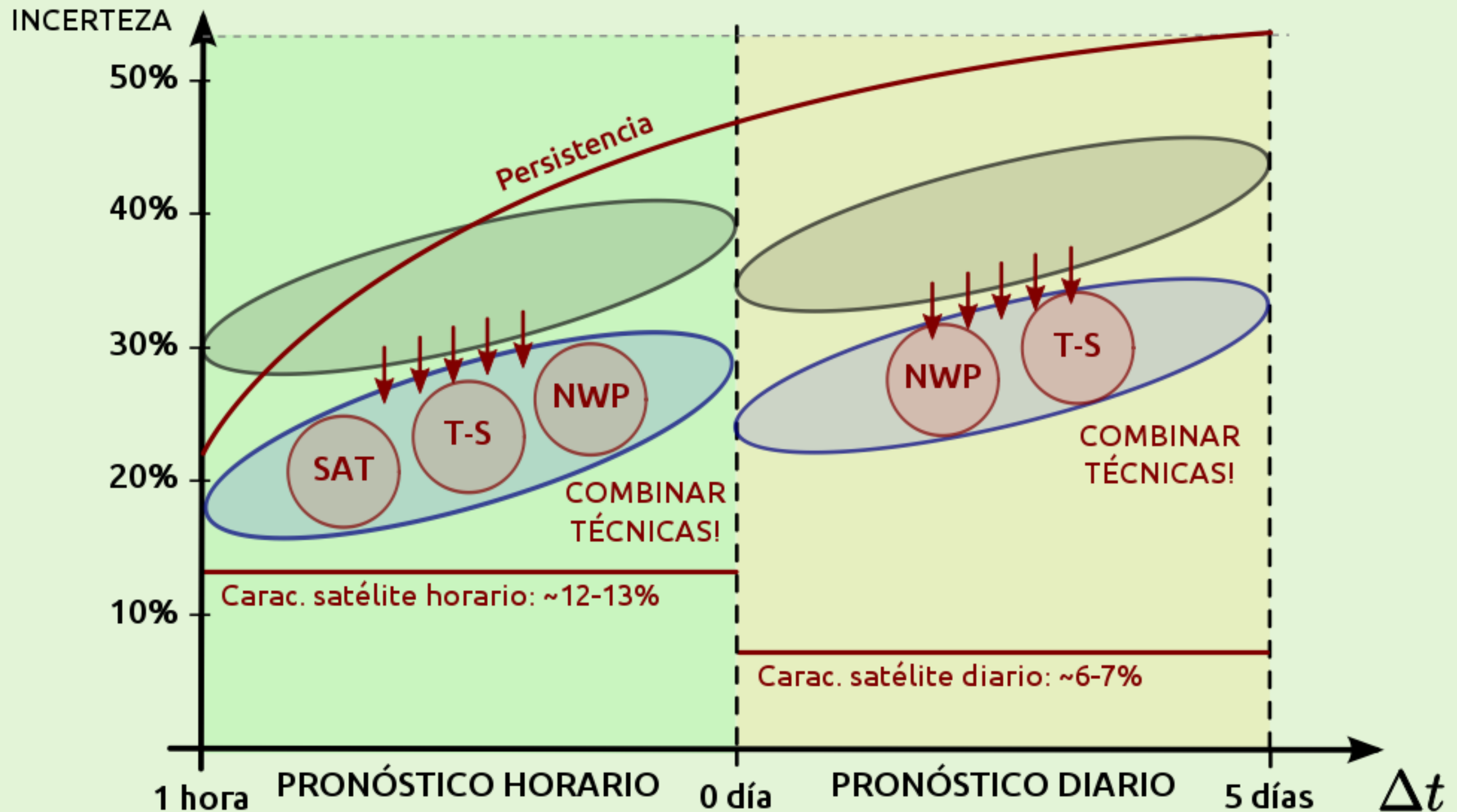
SITUACIÓN ACTUAL: PRONÓSTICO OPERATIVO

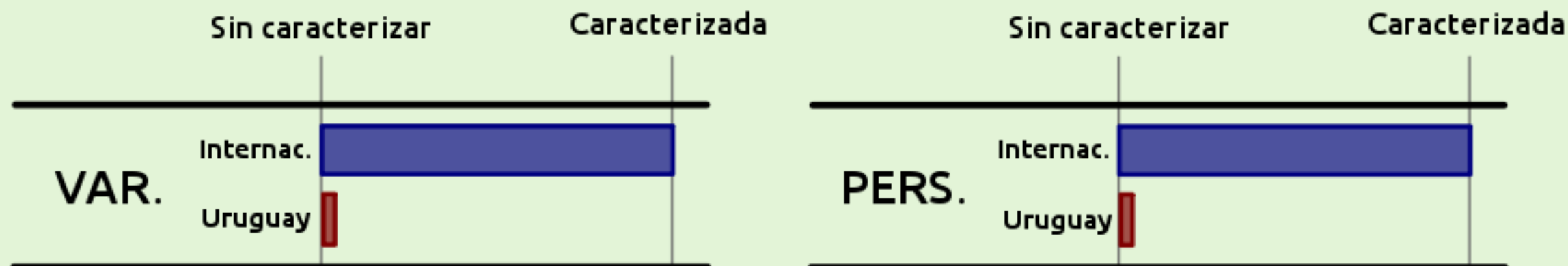


¿CÓMO MEJORAR LAS CAPACIDADES DE PRONÓSTICO SOLAR?

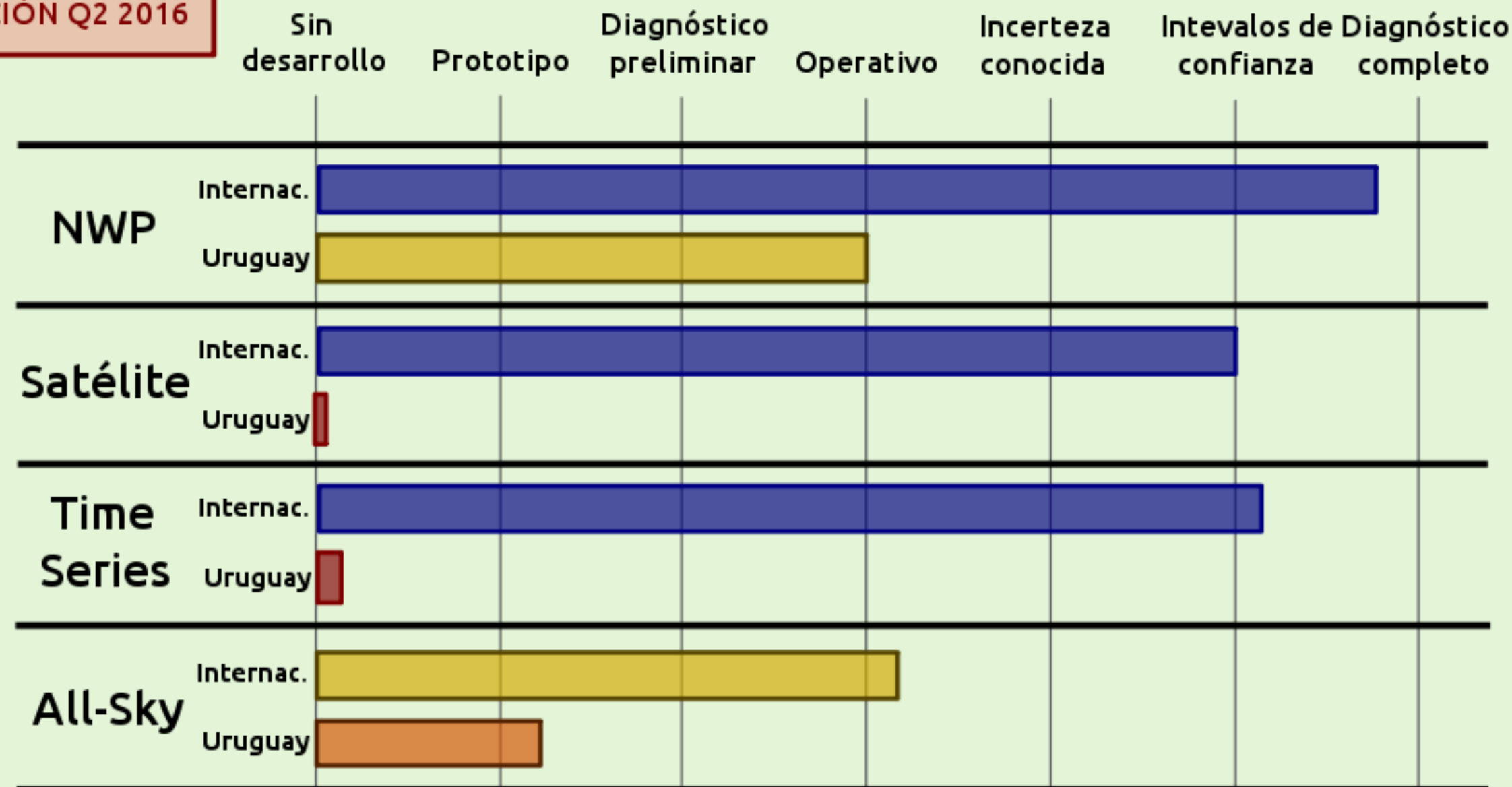


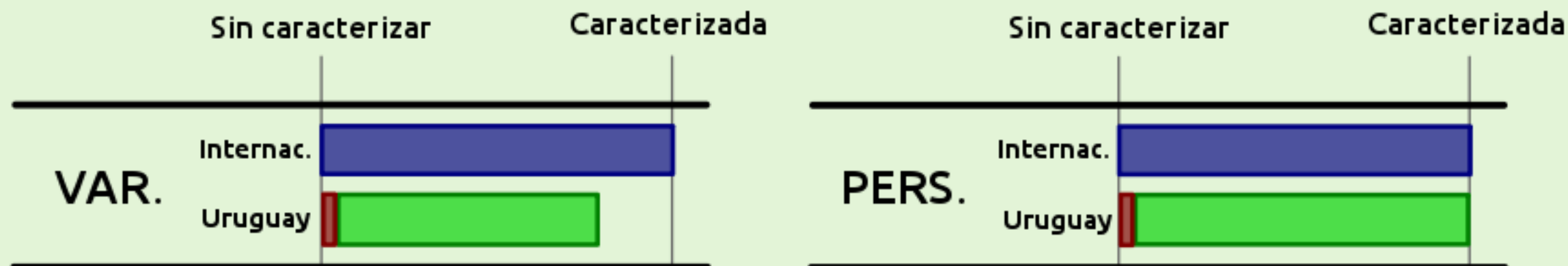
¿CÓMO MEJORAR LAS CAPACIDADES DE PRONÓSTICO SOLAR?



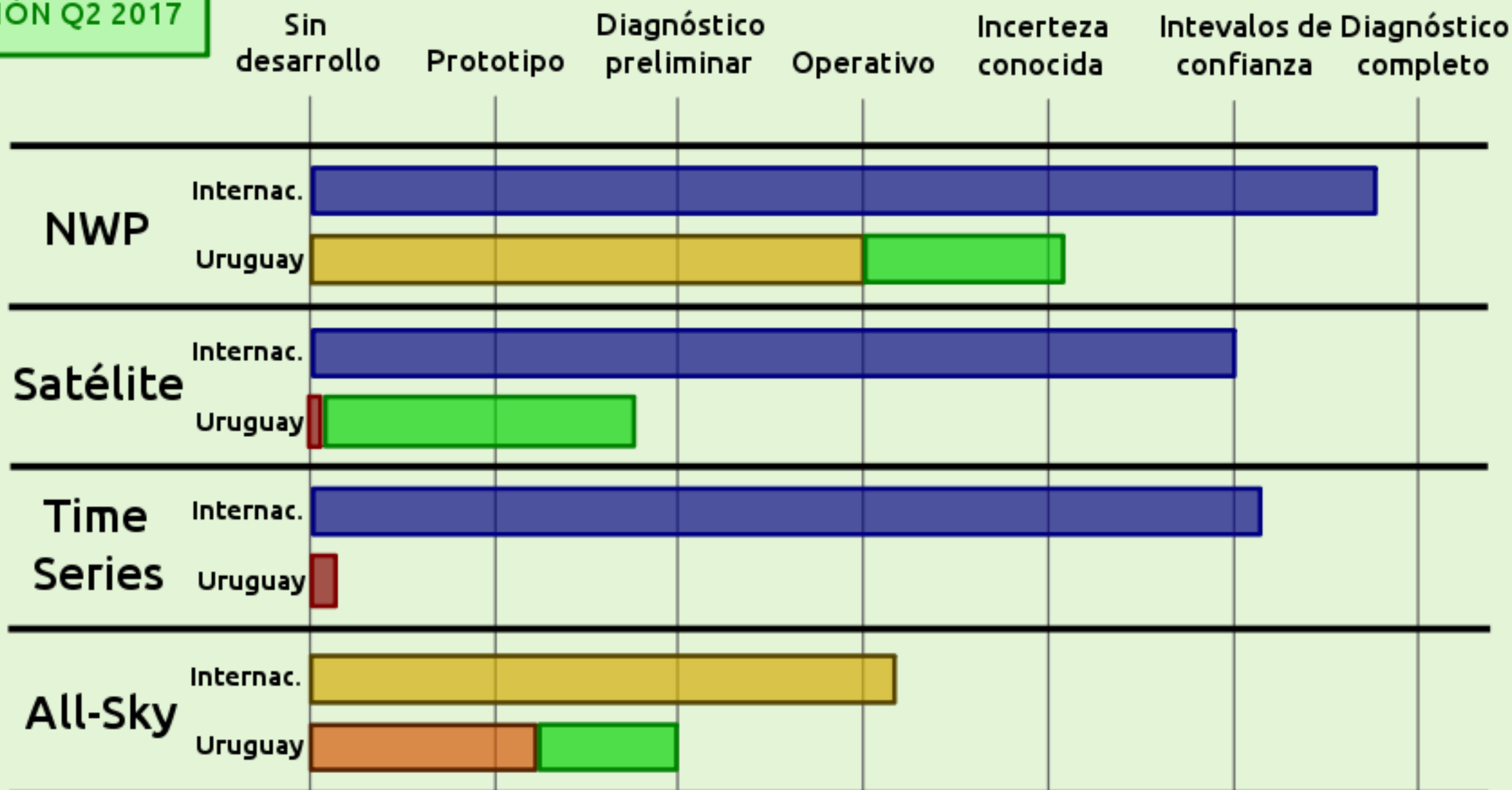


SITUACIÓN Q2 2016



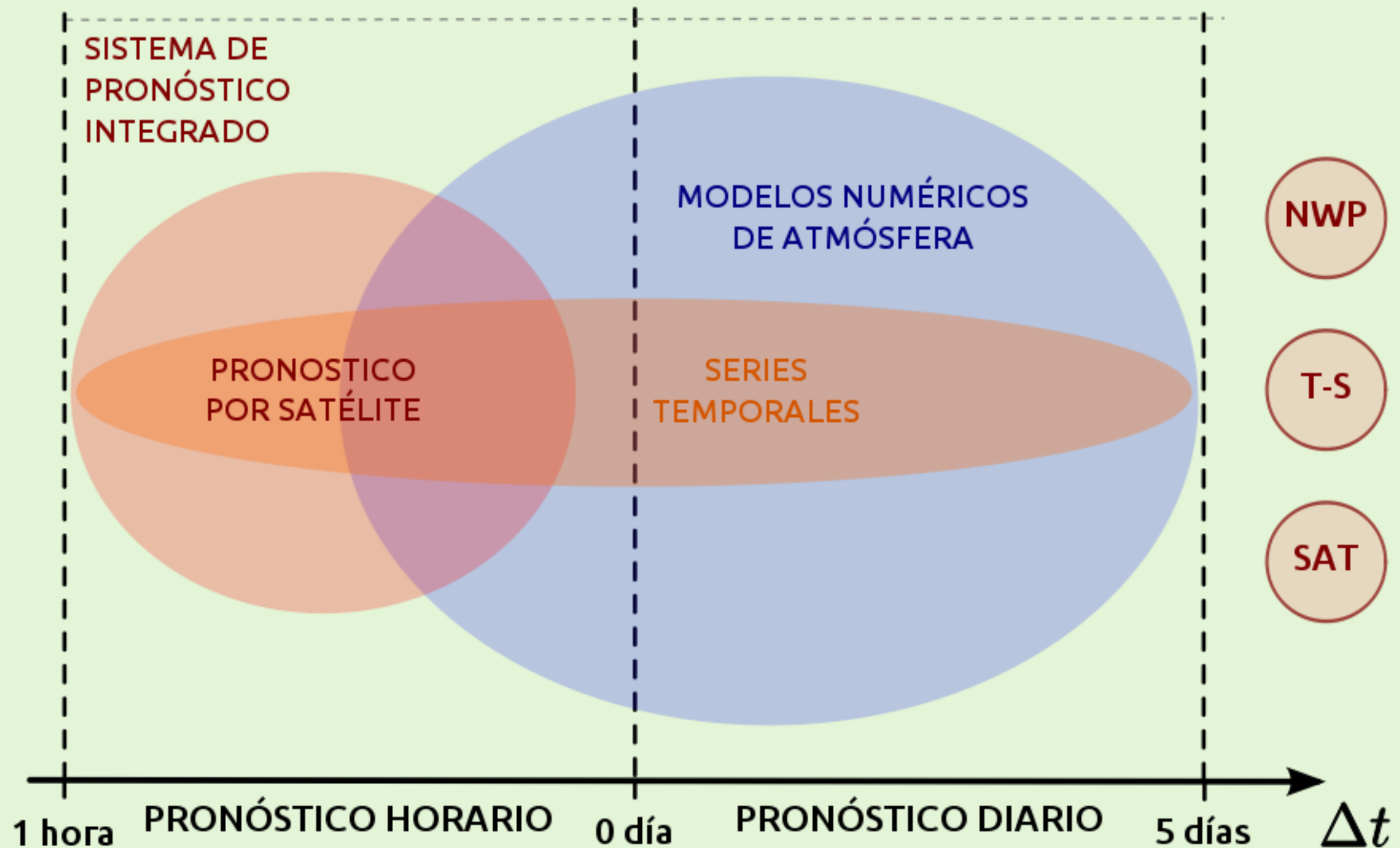


SITUACIÓN Q2 2017



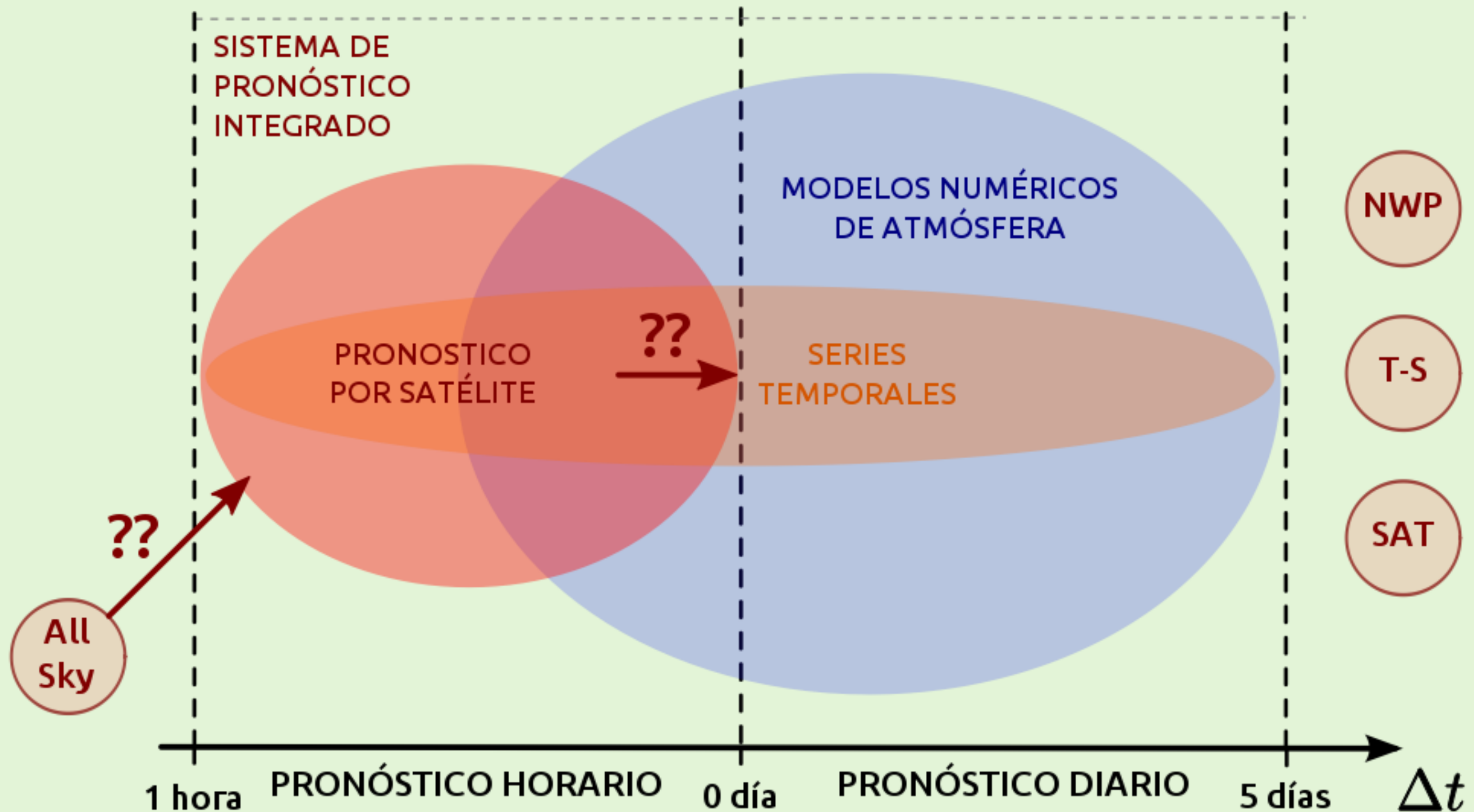
CONCLUSIONES: HOJA DE RUTA DE DESARROLLO DEL PRONÓSTICO SOLAR

OBJETIVO A MEDIANO PLAZO (~2-3 años)



CONCLUSIONES: HOJA DE RUTA DE DESARROLLO DEL PRONÓSTICO SOLAR

OTRAS PREGUNTAS A MEDIANO PLAZO (~5 años)



CONCLUSIONES: HOJA DE RUTA DE DESARROLLO DEL PRONÓSTICO SOLAR

OBJETIVOS A CORTO PLAZO (~1-2 años): PROFUNDIZAR EL DESARROLLO

Continuar el desarrollo de cada técnica de pronóstico por separado y mejorar la caracterización de su incerteza, para distintas condiciones de nubosidad

NWP: Completar el análisis de incerteza (horario, por nubosidad, etc.)

Otras opciones de WRF: múltiples corridas (trabajo actual).

Satélite: Terminar de construir un prototipo operativo (requiere recepción satelital)

Evaluar su incerteza a escala horaria como función del nubosidad y altura solar.

Series temporales: Iniciar su desarrollo (!). Implementar y evaluar distintas técnicas.

CONCLUSIONES: HOJA DE RUTA DE DESARROLLO DEL PRONÓSTICO SOLAR

OBJETIVOS A CORTO PLAZO (~1-2 años): PROFUNDIZAR EL DESARROLLO

Continuar el desarrollo de cada técnica de pronóstico por separado y mejorar la caracterización de su incerteza, para distintas condiciones de nubosidad

NWP: Completar el análisis de incerteza (horario, por nubosidad, etc.)

Otras opciones de WRF: múltiples corridas (trabajo actual).

Satélite: Terminar de construir un prototipo operativo (requiere recepción satelital)

Evaluar su incerteza a escala horaria como función del nubosidad y altura solar.

Series temporales: Iniciar su desarrollo (!). Implementar y evaluar distintas técnicas.



INSTALADA EN EL LES-UdelaR
HACE UNA SEMANA

CONCLUSIONES: HOJA DE RUTA DE DESARROLLO DEL PRONÓSTICO SOLAR

OBJETIVOS A CORTO PLAZO (~1-2 años): PROFUNDIZAR EL DESARROLLO

Continuar el desarrollo de cada técnica de pronóstico por separado y mejorar la caracterización de su incerteza, para distintas condiciones de nubosidad

NWP: Completar el análisis de incerteza (horario, por nubosidad, etc.)

Otras opciones de WRF: múltiples corridas (trabajo actual).

Satélite: Terminar de construir un prototipo operativo (requiere recepción satelital)

Evaluar su incerteza a escala horaria como función del nubosidad y altura solar.

Series temporales: Iniciar su desarrollo (!). Implementar y evaluar distintas técnicas.

OBJETIVOS A MEDIANO PLAZO (~3-5 años): COMBINAR TÉCNICAS

Combinar de forma óptima las distintas técnicas de pronóstico.

Pronóstico diario: NWP + Series temporales (¿qué incertezas se pueden alcanzar?)

Pronóstico horario: Satélite + NWP + Series temporales (¿qué incertezas se pueden alcanzar?)

All-Sky: ¿es posible aportar la pronóstico horario? ¿Asistiendo al pronóstico por satélite?

Satélite: ¿es posible alcanzar el pronóstico para el día actual?

Muchas gracias por la atención



LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

<http://les.edu.uy/>
<http://les.edu.uy/online/>

Ing. Rodrigo Alonso Suárez
Ing. Daniel Aicardi
Ing. Manuel Caldas

MAPA SOLAR DEL URUGUAY (v2)

Resolución espacial: 2 km

Estadística:

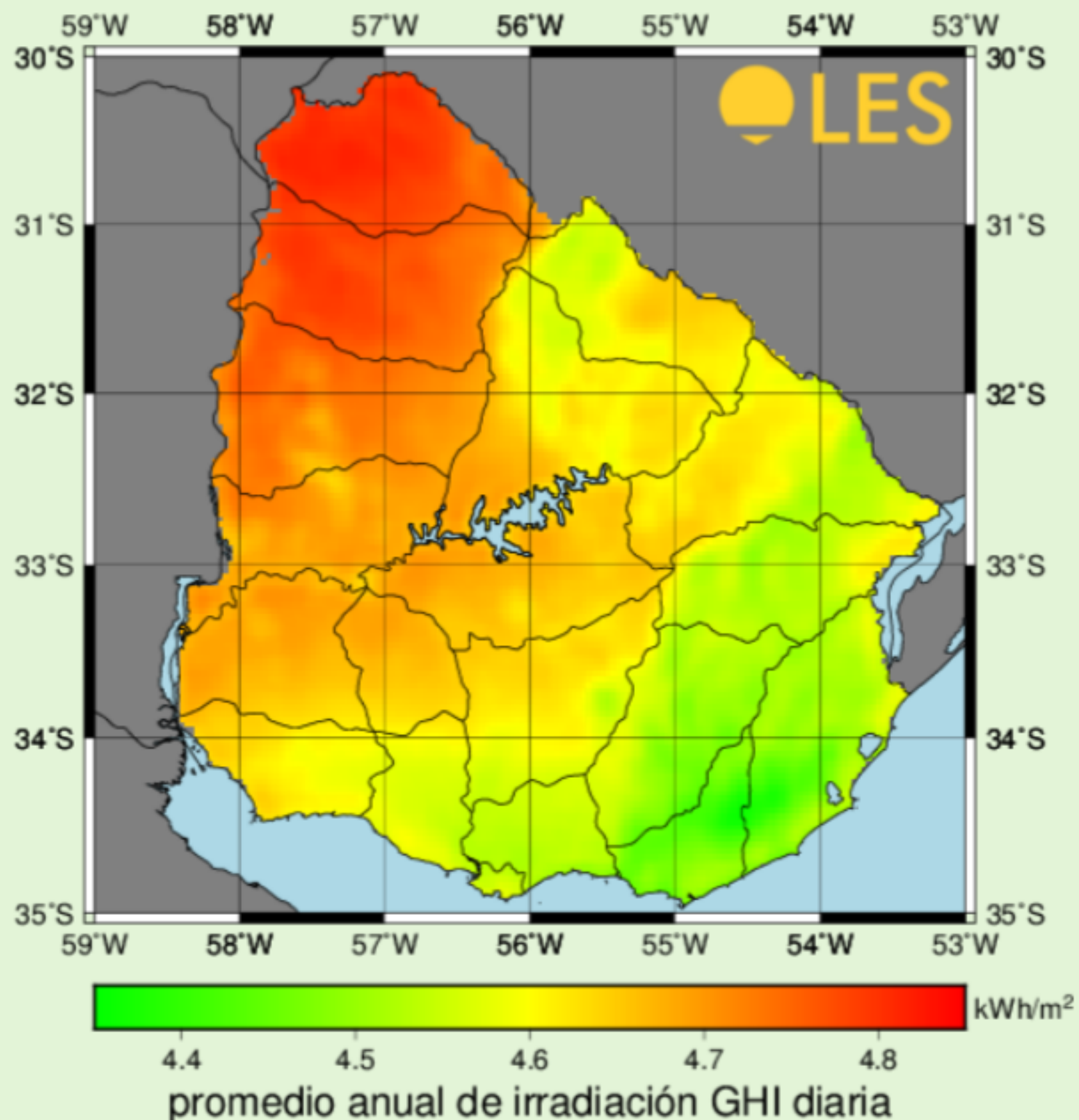
- ~16 años de información satelital
- ~5 años de medidas de tierra

Incerteza:

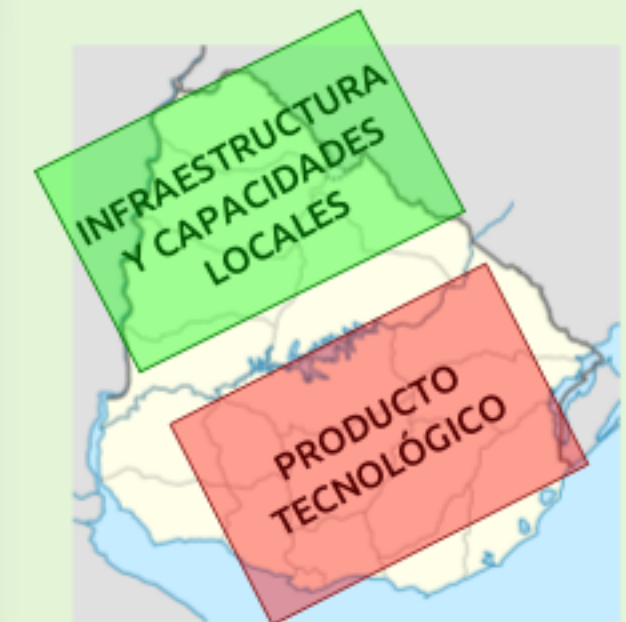
- 2% para los mapas anual y mensual
- 4% para estimativos mes a mes
- 6% para estimativos diarios
- 13% para estimativos horarios

Comparación MSUv1:

- 6% más recurso en promedio
- Mayor estacionalidad del recurso
- Mayor resolución espacial (de 150km a 2km)
- Menor incerteza (de 15% a 2%, para medias anuales)



Ahora sí, muchas gracias por la atención



LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

<http://les.edu.uy/>
<http://les.edu.uy/online/>

Ing. Rodrigo Alonso Suárez
Ing. Daniel Aicardi
Ing. Manuel Caldas