

Imágenes satelitales sintéticas a partir del modelo WRF

Nota Técnica SMN 2022-117

Federico Cutraro¹, Yanina García Skabar^{1,2} y Maximiliano Sacco¹

¹ Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET)

Enero 2022

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En esta Nota Técnica se describe el proceso de generación de imágenes satelitales sintéticas a partir de los pronósticos numéricos del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) operativo en el Servicio Meteorológico Nacional, utilizando el modelo de transferencia radiativa Community Radiative Transfer Model (CRTM). Se realiza la descripción de las características principales del modelo CRTM y de su implementación operativa. Las imágenes satelitales sintéticas demostraron tener un gran correlato con las observadas, por lo que su uso es beneficioso en varios aspectos, desde su aplicación como una herramienta más a la hora de realizar un pronóstico hasta la verificación de los pronósticos numéricos.

Abstract

This Technical Note describes the process of generating synthetic satellite images from Weather Research and Forecasting (WRF) operational numerical forecasts at the National Meteorological Service with the Community Radiative Transfer Model (CRTM). A description of CRTM characteristics and its operational implementation are performed. Synthetic satellite images present a high correlation with observations, therefore their use is beneficial in many ways, from the application as another tool at forecasting to the verification of numerical forecasts.

Palabras clave: CRTM, WRF, imágenes satelitales sintéticas

Citar como:

Cutraró, F., Y. García Skabar y M. Sacco, 2022: Imágenes satelitales sintéticas a partir del modelo WRF. Nota Técnica SMN 2022-117.

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos de pronóstico numérico generan un gran volumen de información. Con el fin de utilizarla y sacar el mayor provecho a partir de los resultados es necesario avanzar en el desarrollo de herramientas de postprocesamiento de las variables pronosticadas. Con el aumento de la capacidad de cómputo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a partir de la adquisición del sistema de cómputo de alto desempeño Huayra Muyu a través del proyecto CyT Alerta (de Elia y otros 2020), se pueden realizar nuevos post-procesamientos del pronóstico que antes resultaban imposibles en tiempos de utilidad operativa. Un ejemplo, es la generación de imágenes satelitales sintéticas que permiten simular una imagen satelital a partir del pronóstico numérico. Actualmente, entre los productos que se generan, se encuentra un proxy de temperatura de brillo, pero este no brinda la capacidad que pueden ofrecer las imágenes sintéticas como la comparación directa con las imágenes satelitales observadas o la validación del pronóstico, sin dejar de mencionar que representan un primer paso hacia la asimilación de datos de radianza de satélites. Para su generación, se requiere contar con un modelo de transferencia radiativa que a partir de los pronósticos generados por un modelo numérico, como puede ser el Weather Research and Forecasting (WRF) utilizado en el SMN, estime la radiación que llega a un satélite. El modelo que se utiliza es el Community Radiative Transfer Model (CRTM; Weng y otros 2006) desarrollado por el Joint Center for Satellite Data Assimilation (JCSDA, <https://www.jcsda.org/>), que está ampliamente avalado por la comunidad científica y es utilizado en el NCEP en la asimilación de radianzas de satélite. El código fuente del CRTM se encuentra disponible en el repositorio público de GitHub del JCSDA (<https://github.com/JCSDA/crtm>).

Dadas las ventajas asociadas a la generación de imágenes satelitales sintéticas se propone acoplar el modelo CRTM al WRF en su versión determinística que se ejecuta operativamente en el SMN (Dillon y otros 2020). Para ello se detalla en la Sección 2 una muy breve introducción sobre el modelo de transferencia radiativa, en la Sección 3 cómo se implementó el modelo CRTM, en la Sección 4 los resultados obtenidos y por último en la Sección 5 las conclusiones.

2. METODOLOGÍA

En la sección anterior se mencionó que para generar las imágenes sintéticas se requiere estimar la radiación que llega a un satélite, esto se hace resolviendo la ecuación de transferencia radiativa. Para esto, los modelos de transferencia radiativa resuelven esta ecuación a partir de conocer cuáles son las fuentes de radiación involucradas en el problema, en ese caso el Sol, la Tierra y la atmósfera, y cómo interactúa la radiación con el entorno, es decir, cómo se modifica al atravesar un medio como la atmósfera. Dada la alta complejidad del problema los distintos modelos de transferencia radiativa existentes pueden ser divididos en 2 grandes grupos: los modelos físicos y los que se usan en tareas operativas. Lo que los diferencia es que los primeros permiten una gran flexibilidad a la hora de realizar los cálculos y una gran precisión pero a un costo computacional elevado, mientras que los segundos, al estar pensados para ser usados operativamente, aplican aproximaciones resignando precisión en los resultados pero reduciendo significativamente el costo computacional. El CRTM es un ejemplo de estos últimos.

Un problema que surge con las imágenes sintéticas es que los cálculos de transferencia radiativa se realizan para longitudes de onda específicas, pero los canales de los sensores en los satélites están compuestos por un rango de estas. Por este motivo, el CRTM en particular tiene la capacidad de simular canales de distintos sensores como puede ser el Advanced Baseline Imager (ABI; Schmit y otros 2017) del satélite meteorológico GOES-16 a partir de utilizar la respuesta espectral de cada canal al generar los coeficientes que se usan para realizar los cálculos.

3. IMPLEMENTACIÓN

El primer paso fue descargar y compilar la versión 2.3.0 del CRTM que era la última versión que se encontraba disponible al momento. Una característica del modelo es que solamente posee las funciones que realizan los cálculos y el usuario es el que se debe encargar de proveer los datos en el formato necesario. Para ellos se escribió el código que lee los archivos de salida del modelo WRF, genera los datos relacionados a la retícula del modelo y el satélite que se quiere simular y llama a las funciones del CRTM.

Como input el CRTM requiere contar con distintas variables del pronóstico asociadas al estado de la atmósfera y la superficie. Para ello, se obtuvieron de las salidas del WRF los perfiles de temperatura, presión y las concentraciones de vapor de agua, gotas de nube, gotas de lluvia, nieve, graupel y hielo, siendo estas últimas las variables asociadas a la parametrización de la microfísica empleada y los valores de temperatura de la superficie, el uso de suelo y la cobertura del mismo. Sin embargo, hay variables necesarias que no son pronosticadas por el WRF como el contenido de dióxido de carbono y ozono. Para estos casos se emplearon los perfiles climatológicos provistos por el CRTM. Además de las variables meteorológicas, se requiere definir parámetros asociados al sensor que se va a simular, entre los que se encuentran seleccionar los canales que se quieren procesar y la posición de éste respecto de la retícula del modelo. En este caso el sensor escogido fue el ABI y los canales simulados el 7 (3.9 μm), 8 (6.2 μm), 9 (6.9 μm), 10 (7.3 μm) y 13 (10.3 μm). Aunque el CRTM tiene la capacidad de simular los canales del ABI en el espectro visible, se optó por no procesarlos debido a que aumenta demasiado el costo computacional. A pesar de que para el espectro infrarrojo la radiación solar puede ser despreciada, el canal 7 del ABI se encuentra en una región donde no puede serlo. Por ello, se incluyeron también los cálculos de la posición del Sol respecto de la retícula.

Aunque el CRTM es un modelo pensado para correr operativamente, el tiempo que demoraba en procesar cada hora de pronóstico era excesivo por lo que se planteó paralelizar su ejecución. Como los cálculos se realizan en base a perfiles de atmósfera, cada punto de retícula del pronóstico se calcula independientemente de los demás por lo que la paralelización no plantea mucha dificultad. Por esto, se recurrió a rutinas de OpenMP (<https://www.openmp.org/>) que se incluyeron dentro del código fuente de Fortran que ejecuta el CRTM. Esto redujo significativamente el tiempo de procesamiento, tardando menos de 1 minuto en procesar cada una de las salidas del modelo WRF.

Para guardar los resultados de la ejecución del CRTM se optó por el formato NetCDF dado que es el mismo formato en que están las salidas del WRF y el postprocesamiento de los pronósticos. Los archivos resultantes se corresponden cada uno con los plazos de pronóstico del WRF y las variables almacenadas son los 5 canales del ABI procesados. Estos archivos se almacenan sólo durante los 3 días posteriores a la ejecución del CRTM, después de ese tiempo solamente se conserva el dato del canal 13. De manera

similar, las figuras generadas para cada canal procesado y plazo de pronóstico se guardan permanentemente. La información del almacenamiento utilizado por ciclo de pronóstico se encuentra resumida en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de los archivos de salida del CRTM que se almacenan luego de cada ciclo de pronóstico.

Archivo	Contenido	Tamaño	Almacenamiento
G16.{fecha}.{plazo}.nc	Canales 7, 8, 9, 10 y 13 del sensor ABI	72*26 Mb \approx 1.8 Gb	Temporal
G16_CH13.{fecha}.{plazo}.nc	Canal 13 del sensor ABI	72*3.7 Mb \approx 271 Mb	Histórico
CRTM_CH{canal}.{fecha}.{plazo}.jpg	Figuras de los canales 7, 8, 9, 10 y 13 del sensor ABI	5*72*60 Kb \approx 46 Mb	Histórico

4. RESULTADOS

Para ejemplificar el tipo de imágenes que se pueden obtener usando el CRTM se muestra en las Figuras 1 a 5 las imágenes satelitales sintéticas y observadas para los canales 7, 8, 9, 10 y 13 del sensor ABI respectivamente. Tanto las imágenes de GOES-16 como las sintéticas corresponden al 2 de diciembre de 2020 a las 14 HOA. Se puede ver que existe una gran concordancia entre el pronóstico y las observaciones, basándose en la posición e intensidad de los sistemas meteorológicos y a las temperaturas de brillo indicando que tanto el pronóstico realizado por el modelo WRF como el modelo de transferencia radiativa tuvieron un buen desempeño. Una diferencia notoria es que las imágenes sintéticas no presentan un manto de cirros extendido como sí se observa en las imágenes de GOES-16. Diversos estudios abordaron esta problemática (Van Weverberg y otros, 2013; Grasso y otros, 2014) y la asociaron a que en la parametrización de la microfísica WSM6 que se utiliza en el WRF, las partículas de hielo tienden a transformarse a otras especies microfísicas, en especial graupel y nieve, reduciendo así la extensión de los cirros.

Realizando la diferencia entre la imagen sintética y la observación (figuras no mostradas), estas son máximas en las regiones de nubosidad debido a la mayor incertidumbre en estas zonas tanto en el pronóstico como en los cálculos del modelo de transferencia radiativa. En cielos despejados las diferencias son mínimas y especialmente asociadas a factores de la superficie. Un caso especial sucede en los pronósticos cuya validez es para horas de la tarde en la cordillera y la patagonia donde ante cielos despejados, en los canales sensibles a la superficie (7, 13 y en menor medida el 10) las diferencias toman valores de hasta 10°C siendo la observación la que presenta mayor temperatura de brillo, de las cuales no se sabe el origen todavía.

Un análisis más exhaustivo de las imágenes generadas con el CRTM y su comparación con las observaciones y las obtenidas empleando un modelo de transferencia radiativa más complejo se puede encontrar en Cutraro y otros (2021).

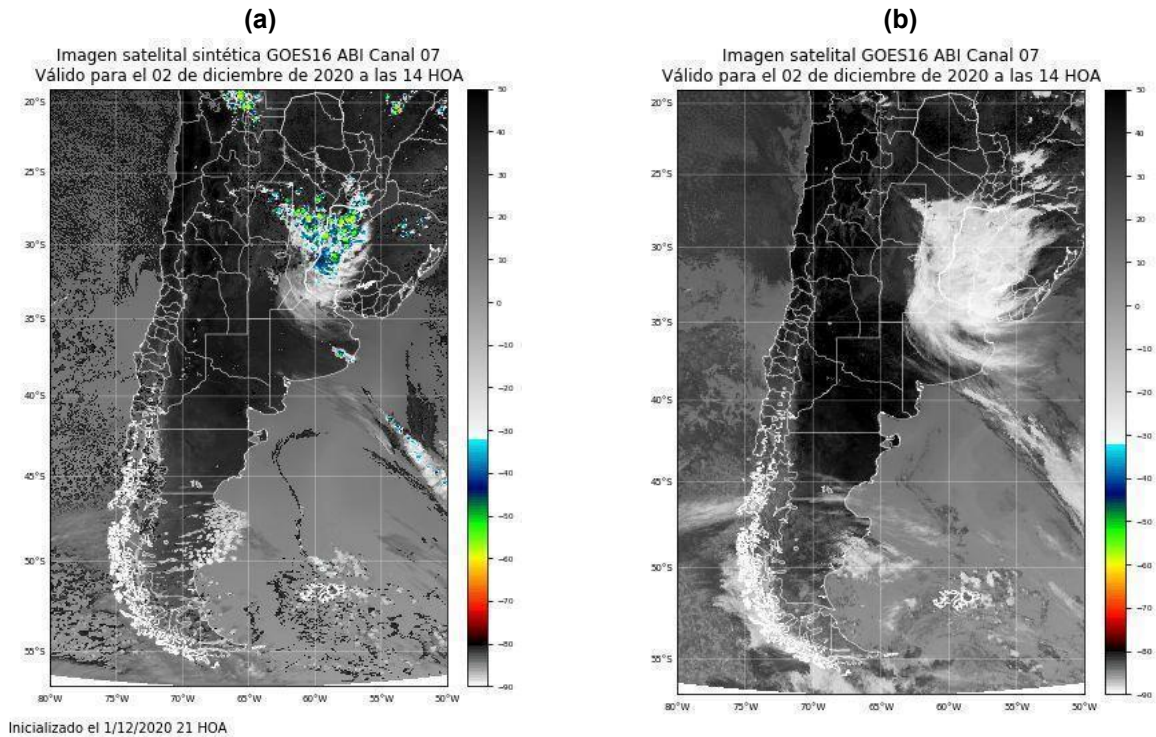


Fig. 1 (a) Imagen satelital sintética del canal 7 ($3.9 \mu\text{m}$) del sensor ABI a bordo del satélite GOES-16 válida para el 2 de diciembre de 2020 a las 14:00 HOA y (b) Imagen observada para el mismo tiempo y canal del sensor ABI.

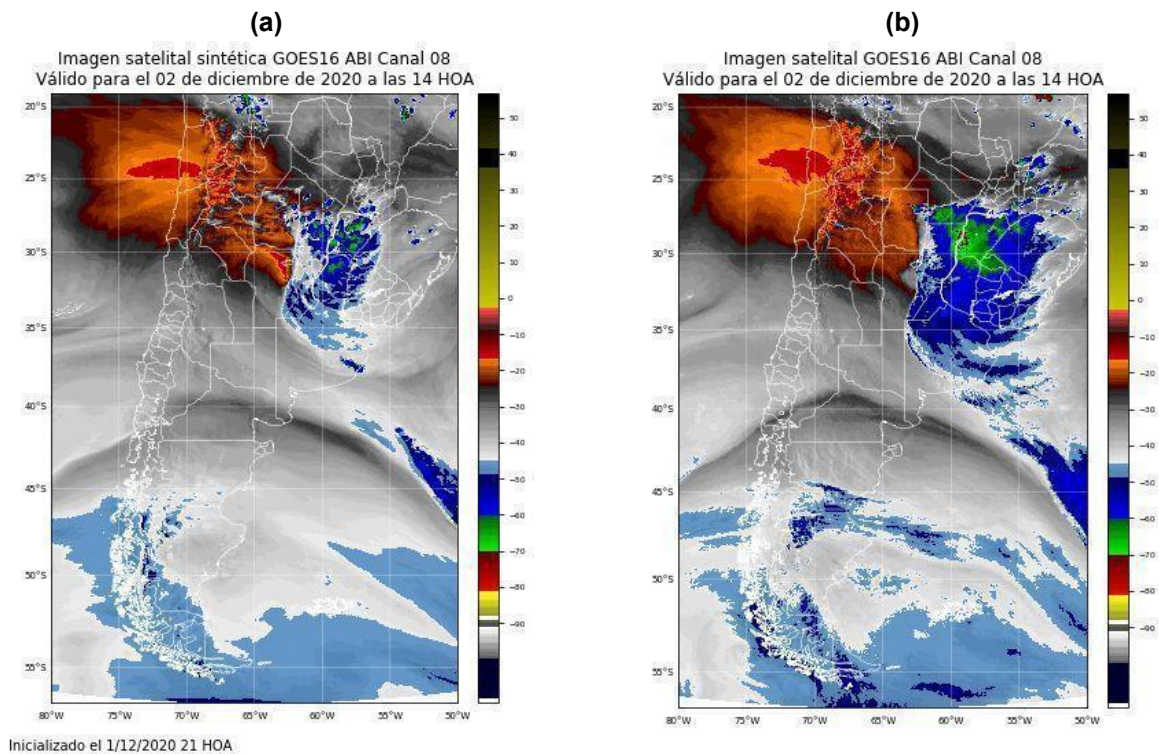


Fig. 2 Idem Figura 1 pero para el canal 8 ($6.2 \mu\text{m}$) del sensor ABI.

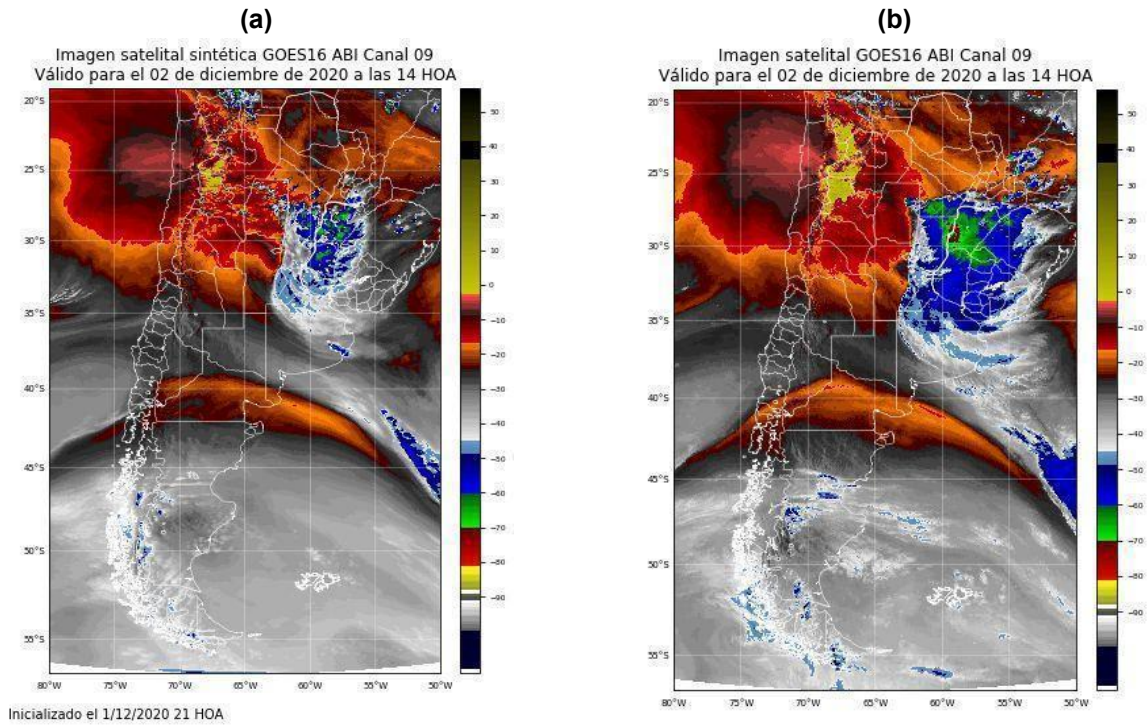


Fig. 3 Idem Figura 1 pero para el canal 9 ($6.9 \mu\text{m}$) del sensor ABI.

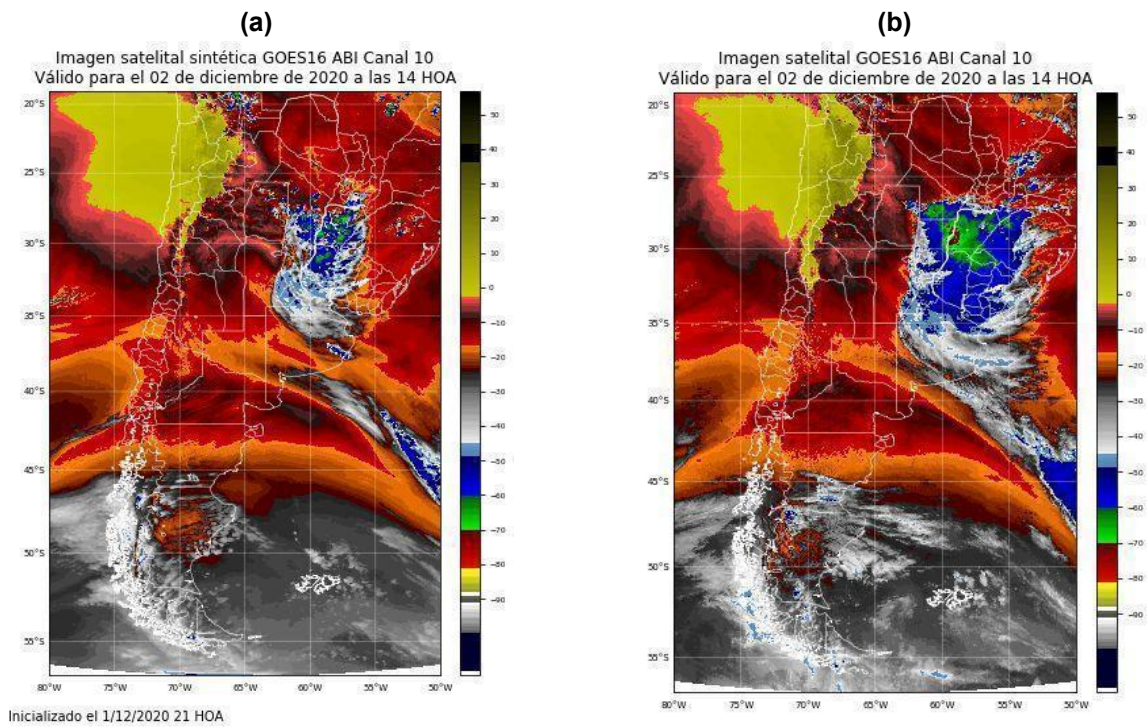


Fig. 4 Idem Figura 1 pero para el canal 10 ($7.3 \mu\text{m}$) del sensor ABI.

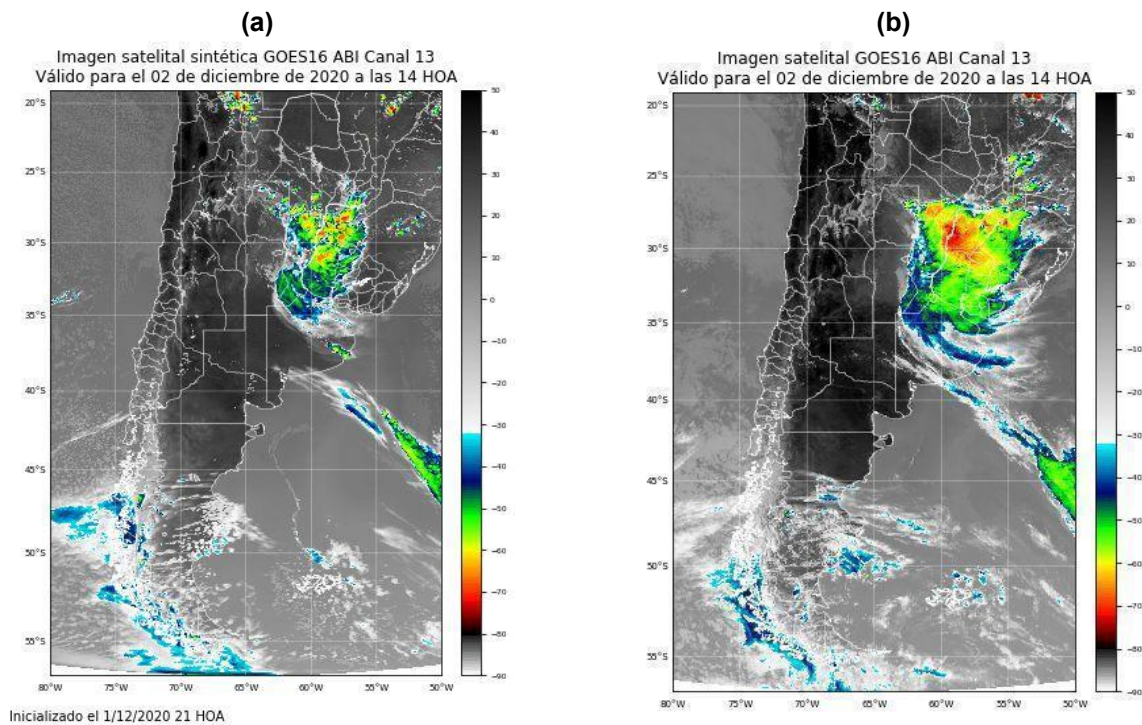


Fig. 5 Idem Figura 1 pero para el canal 13 ($10.3 \mu\text{m}$) del sensor ABI.

A modo de comparación en la Figura 6 se muestra el producto generado actualmente de proxy de temperatura de brillo en el espectro infrarrojo. Si se lo compara con las imágenes sintética y observada para el canal 13 del ABI (que aunque no representa la misma información, es el canal que debería parecerse más) se pueden ver claras diferencias. Esto se debe a la capacidad del CRTM para simular canales específicos de diversos sensores, sumado a la mayor rigurosidad en el cálculo de las temperaturas de brillo.

5. CONCLUSIONES

En esta Nota Técnica se resumieron las actividades realizadas en el marco de la implementación operativa del modelo de transferencia radiativa CRTM para generar imágenes satelitales sintéticas a partir de los pronósticos del modelo WRF y los resultados obtenidos. Como se pudo ver en la sección anterior, las imágenes sintéticas generadas tienen un gran correlato con las observadas y representan una importante mejora respecto del proxy de temperatura de brillo utilizado actualmente, debido a las mayores capacidades que brinda la implementación del modelo CRTM. Esto abre las puertas a no solo tener más herramientas al realizar un pronóstico sino también a realizar validaciones de los pronósticos del WRF al compararlo con observaciones satelitales.

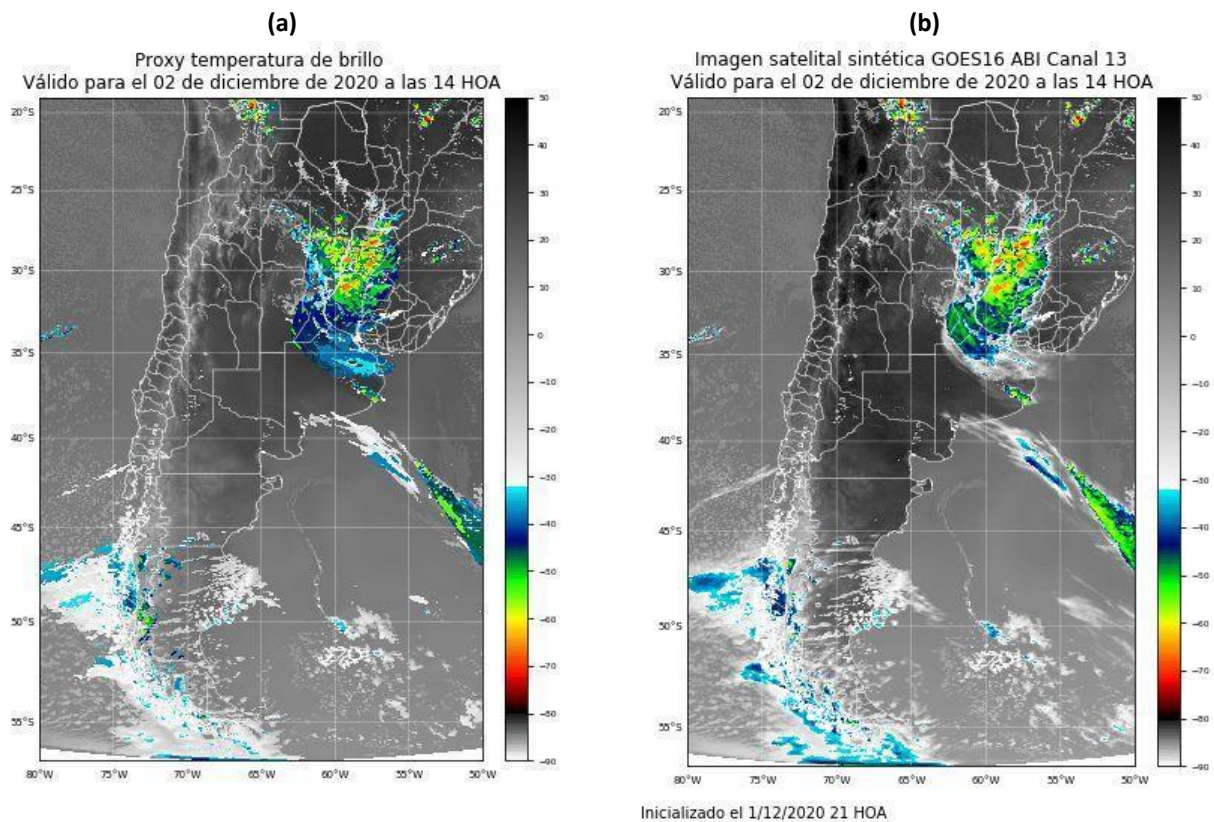


Fig. 6 (a) Proxy de temperatura de brillo y (b) Imagen satelital sintética para el canal 13 del sensor ABI generada con el CRTM para el 2 de diciembre de 2020 a las 14:00 HOA.

REFERENCIAS

Cutraro, F., Galligani, V.S. & García Skabar, Y., 2021, Evaluation of synthetic satellite images computed from radiative transfer models over a region of South America using WRF and GOES-13/16 observations. *Q J R Meteorol Soc*, 147, 2988–3003, <https://doi.org/10.1002/qj.4111>.

de Elía R., M. Gené, V. Sala, P. Loyber, Y. García Skabar, M. Arianna, 2020: Un salto en la potencia de cálculo en el SMN: cómo se adquirió el nuevo HPC. Nota Técnica SMN 2020-67.

Dillon, M. E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración de los pronósticos determinísticos. Nota Técnica SMN 2020-78.

Grasso, L., Lindsey, D. T., Lim, K.-S. S., Clark, A., Bikos, D. y Dembek S. R., 2014, Evaluation of and suggested improvements to the WSM6 microphysics in WRF-ARW using synthetic and observed GOES-13 imagery, *Monthly Weather Review*, 142, 10, 3635–3650, doi:10.1175/MWR-D-14-00005.1.

Schmit, T. J., Griffith, P., Gunshor, M. M., Daniels, J. M., Goodman, S. J. y Lehair, W. J., 2017: A Closer Look at the ABI on the GOES-R Series, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(4), 681-698.

Van Weverberg, K., Vogelmann A. M., Lin W., Luke E. P., Cialella A., Minnis P., Khaiyer M., Boer E. R. y Jensen M. P., 2013, The Role of Cloud Microphysics Parameterization in the Simulation of Mesoscale Convective System Clouds and Precipitation in the Tropical Western Pacific, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70, 4, 1104-1128, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-12-0104.1>.

Weng, F., Han, Y., Delst, P., Liu, Q., Kleespies, T., Yan, B. and Le Marshall, J., 2006, JCSDA community radiative transfer model (CRTM)—version 1, Joint Center for Satellite Data Assimilation, Technical Report 122.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).