



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*



IBERO-AMERICAN PROGRAMME FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT
IBERO-AMERICAN NETWORK OF BIOECONOMICS AND CLMATE CHANGE



3.2 Prediction Models and Meteorology Centers in LAC

Odil Durán Zarabozo, Ph.D.^{*,} Marcio Baca, Ing. [†], Gerardo de Jesus Montoya Gaviria, Ph.D.[‡], Tatiana Geler Roffe, Ph.D.[§], Orestes Sardiñas Gómez, M.Sc. ^{**}, Ransés Vázquez Montenegro, M.Sc. ^{††}

Abstract

At the present works the climate change thematic was studied and the modelling tools that Latina American and Caribbean countries applied for perdition the possible climatic scenarios. It makes an analysis of vary organizations and institutions that work to bring the meteorology services and in particular it show some of agricultural experiences applied in the region.

JelClassification: Q.16; Q.51; Q:57;Q:58

Keywords: Prediction Models, Climate Change, Meteorology Services.

* Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA

† Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER. Email: marcio.baca@met.ineter.gob.ni Teléfono: 505 22492755.

‡ Universidad Nacional de Colombia. Grupo de investigación en meteorología. Email: gdmontoyag@unal.edu.co

§ Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA, Email: tgeler@ceniai.inf.cu

** Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA . Email: orestess@geotech.cu Phone: 00 (537) 8334529

**

†† Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA. Email: Ranses.vazquez@insmet.cu





PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO
RED IBEROAMERICANA DE BIOECONOMÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO



3.2 Modelos de predicción y los Centros de Meteorología en ALC

Odil Durán Zarabozo, Ph.D.[†], Marcio Baca, Ing. [‡], Gerardo de Jesus Montoya Gaviria, Ph.D.[‡], Tatiana Geler Roffe, Ph.D.[§], Orestes Sardiñas Gómez, M.Sc. ^{**}, Ransés Vázquez Montenegro, M.Sc. ^{††}

Resumen

En el presente trabajo se trata la temática del cambio climático y las herramientas de modelación que se aplican en los países de la región de América Latina y el Caribe para predecir los posibles escenarios climáticos. Se hace un análisis de las diferentes organizaciones e instituciones que se dedican a brindar los servicios meteorológicos y en particular se exponen algunas experiencias de su aplicación en la agricultura en la región.

JeClassification: Q.16; Q.51; Q:57;Q:58

Palabras Claves: modelos de predicción; cambio climático; servicios meteorológicos.

* Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA

† Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER. Email: marcio.baca@met.ineter.gob.ni Teléfono: 505 22492755.

‡ Universidad Nacional de Colombia. Grupo de investigación en meteorología. Email: gdmontoyag@unal.edu.co

§ Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA, Email: tgeler@ceniai.inf.cu

** Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA. Email: orestess@geotech.cu Phone: 00 (537) 8334529

**

†† Instituto de Geografía Tropical, CITMA, CUBA. Email: Ranses.vazquez@insmet.cu



1. Introducción

Como cambio climático se reconoce actualmente a todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana. En la Convención Marco sobre el Cambio Climático se hace especial énfasis en el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007).

Cualquiera sea el enfoque se reconoce como un fenómeno de carácter global y plantea enormes retos para la humanidad en su conjunto. Genera una diversidad de efectos e impactos, tanto económicos como sociales, que requiere de esfuerzos y compromisos que solo pueden ser encarados de manera globales, sin obviar sus manifestaciones locales. La evaluación de los efectos e impactos del cambio climático y el análisis de las mejores formas de adaptarse resultan imprescindible para definir políticas públicas que busquen asegurar el correcto y oportuno desarrollo de los países, el bienestar de las personas y la preservación del medio ambiente.

Lógicamente, los países de menor desarrollo resultan más vulnerables ante los impactos del cambio climático, en tanto cuentan con menor disponibilidad de recursos y capacidad científica, menores niveles educacionales y más pobre infraestructura, todo lo cual conspira contra su capacidad de enfrentamiento y de recuperación. Ante esa situación, la adaptación al cambio climático se presenta como la mejor política a seguir.

La adaptación al cambio climático es vista como *“el ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes”* (<http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>). Dentro de ella pueden distinguirse varios tipos, como la preventiva y la reactiva, la pública y privada, o la autónoma y la planificada. Como respuesta, no tiene que demandar necesariamente la erogación de cuantiosos recursos, permite hacer uso de la planificación y por otra parte, pueden ser muchos sus beneficios.

Haciendo a un lado las controversias sobre el verdadero origen o la mayor o menor responsabilidad del hombre en el cambio climático, o las proyecciones sobre su comportamiento, lo cierto es cualquier acción que en materia de medio ambiente y prevención de riesgos se tome, resulta

siempre pertinente, inteligente, útil y tributa en definitiva al logro de la sostenibilidad del desarrollo. Es por ello que las manifestaciones más evidentes del cambio climático, como el aumento de la temperatura, la elevación del nivel medio del mar, los cambios en los ritmos o cantidad de precipitaciones y el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos deben ser objeto de atención permanente y cualquier acción preventiva o de adaptación en ese sentido, significará a la postre menos costos destinados a la recuperación y menores pérdidas en sentido general.

Para la adaptación al cambio climático es necesario conocer los escenarios probables de su manifestación, entendiendo estos como *“una descripción de la situación actual, de un estado futuro posible o deseable, así como la serie de eventos que podrían llevar a partir de la situación actual de las cosas a este estado futuro”* (Schoute et al., 1995).

La construcción de los escenarios resulta entonces una herramienta para identificar los problemas y ayudar a la toma de decisión y planificación utilizando criterios de expertos. Este proceder consiste en la formulación de un conjunto internamente consistente y coherente de hipótesis sobre las relaciones principales entre los fenómenos en estudio, los factores determinantes y su desarrollo futuro previsto. Generalmente se construyen más de un escenario e incluso si el resultado de un estudio fuese solo un escenario único, durante la fase de análisis necesariamente habría que considerar varios escenarios a la vez. La modelación es la técnica utilizada dentro de la construcción de escenarios, para evaluar al futuro un conjunto de variables que los describen.

Además, del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables como las lluvias y sus patrones, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico. La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que simulan la física de la atmósfera y de los océanos. La naturaleza caótica de estos modelos hace que en sí tengan una alta proporción de incertidumbre (Stainforth et ál., 2005) (Roe y Baker, 2007), aunque eso no es óbice para que sean capaces de prever cambios significativos futuros (Schnellhuber, 2008) (Knutti y Hegerl, 2008) que tengan consecuencias tanto económicas (Stern, 2008) como las ya observables a nivel biológico (Walther et ál., 2002)(Hughes, 2001).

El documento se organiza después de la introducción haciendo en la segunda sección Referencia a algunas consideraciones acerca de los modelos de predicción, en la tercera sección se hace una explicación del contexto institucional de los estudios sobre el cambio climático a escala internacional, en la cuarta sección se presentan las experiencias cubanas de utilización de modelos de predicción en la Eco Intensificación, y finalmente se hace las consideraciones finales.

2. Algunas consideraciones acerca de los modelos de predicción.

Como modelo se puede entender a cualquier representación simplificada de la realidad o un aspecto del mundo real que es de interés para el investigador, permite reconstruir la realidad, predecir el comportamiento, una transformación o una evolución (Christofoletti, 1999).

Una definición de las más utilizadas establece que *“modelo es una estructura simplificada de la realidad que supuestamente presenta, en general, las características o las relaciones importantes. Los modelos son aproximaciones muy subjetivas, por no incluir todas las observaciones o medidas asociadas, pero son valiosos por ocultar detalles accidentales y propiciar la aparición de los aspectos fundamentales de la realidad”* (Haggett y Chorley, 1967, 1975) citado Christofoletti (1999, p 8).

Según Logreira (2009), existen modelos de diferentes clases y desarrollados para diferentes propósitos, sin embargo, mucho de los modelos desarrollados, tienen las mismas estructuras de desarrollo. Para una mejor agrupación y comprensión de los modelos, estos se pueden clasificar en tres grupos: proceso de descripción, escala y técnica de solución.

Según el proceso, estos pueden ser distribuidos o agregados, determinístico o estocástico o una mezcla de estos dos últimos.

Según la escala, puede estar dividida en espacial o temporal, en lo relativo al tiempo, estos se pueden subdividir en modelos para eventos, para tiempo continuo y para modelar largos períodos de tiempo.

Según la técnica de solución, puede ser: analítica, análoga y numérica, la cual podría ser por diferencias finitas, elementos finitos, basados en ecuaciones diferenciales parciales lineales, etc.

De acuerdo a la escala espacial, los modelos se clasifican según su tamaño. Por ejemplo, para cuencas con áreas menores a 100 km², se les llama pequeñas, entre 100 y 1000 km², medianas y para mayores de 1000 km² grandes.

Dependiendo de la forma matemática que adopta la descripción de los procesos físicos que se simulan, pueden ser clasificados dentro de tres categorías: empíricos, conceptuales y de base física (Merritt et al., 2003; Alatorre, 2009).

Los modelos empíricos son generalmente los más sencillos, basándose en el análisis estadístico de un conjunto de observaciones. Para ello se basan en la acumulación de información cuantitativa a partir de instalaciones experimentales y de monitoreo en campo. Los modelos empíricos, basados en USLE como MUSLE y RUSLE.

Los modelos conceptuales tienen como objetivo describir los principales procesos físicos que gobiernan la erosión. Se destacan el CREAMS (Knisel, 1980) y el ANSWERS (Beasley et al., 1980).

Los modelos de base física se desarrollaron a partir de los años 70 del siglo XX, coincidiendo con el aumento de la capacidad de computación numérica. Los modelos de base física, se basan en las leyes físicas que controlan las relaciones entre los diferentes parámetros y procesos de erosión y transporte de sedimento observados y su descripción mediante ecuaciones que gobiernan la transferencia de masa, momento y energía. Entre ellos los modelos WEPP (Laney Nearing, 1989; Nearing et al., 1989) y al modelo europeo, EUROSEM (Morgan et al., 1984).

De Coursey (1991) y De Roo (1993) han identificado algunas de las ventajas en el uso de los modelos que a continuación se relacionan:

- La hipótesis expresada en términos matemáticos puede proporcionar una descripción cuantitativa y comprensión de los procesos químicos, biológicos e hidrológicos.
- Los modelos matemáticos pueden proporcionar un marco conceptual integral que puede ayudar a identificar las áreas en las que existe una falta de conocimiento, y podrían estimular nuevas ideas y enfoques experimentales.

- La modelación puede conducir a disminuir la experimentación ad hoc, como los modelos a menudo hacen más fácil el diseño de experimentos para responder a preguntas específicas, o para discriminar entre alternativas.
- En un sistema con varios componentes, un modelo proporciona una manera de reunir conocimientos sobre las partes, proporcionando así una imagen coherente del comportamiento del sistema en su conjunto.
- La modelación puede ayudar a proporcionar apoyo estratégico y táctico para un programa de investigación motivando a los científicos y fomentando la colaboración.
- Un modelo puede proporcionar una poderosa manera de resumir los datos, así como un método de interpolación y extrapolación conservado.
- Los datos son cada vez más precisos y al mismo tiempo más caros para obtenerlos. Un modelo a veces puede hacer uso de los datos de manera más eficiente (por ejemplo, la altitud se puede utilizar para calcular el gradiente de la pendiente, la exposición de las vertientes, curvatura, patrón de drenaje, y las cuencas hidrográficas).
- La capacidad de predicción de un modelo de éxito se puede utilizar de varias maneras: actuando en la asignación de prioridades en la investigación y el desarrollo, la planificación y la gestión, entre otros.
- Los modelos validados con datos experimentales obtenidos pueden proporcionar un mecanismo para la transferencia de datos de un área de estudio a otras áreas con menor disponibilidad de datos.

Una compilación de estos análisis realizados a los diferentes tipos de modelos se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de modelos de predicción utilizados a nivel internacional.

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Resultados	Referencia (año)
USLE	Empírico	Parcela/ Ladera	Anual	Erosión	Wischemeier y Smith, 1978
MUSLE	Empírico	Cuenca	Evento	Producción de sedimentos	Williams, J.R, 1975

PARTE II LA BIOECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO 3.- LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
3.2 MODELOS DE PREDICCIÓN Y LOS CENTROS DE METEOROLOGÍA EN ALC

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Resultados	Referencia (año)
ANSWERS	Físico	Pequeñas cuencas	Evento/ continuo	Escorrentía, pico máximo, erosión, sedimentos producción de sedimentos	Beasley et. al., 1980
HSPF	Conceptual	Cuenca	Continuo	Escorrentía, tasa de escorrentía, carga de sedimentos	Johansen et. al., 1984
AGNPS	Conceptual	Pequeñas cuencas	Evento/ continuo	Escorrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Young et. al., 1986
SLEMSA	Empírico	Parcela/ Ladera	Anual	Erosión	Elwell y Stocking, 1982; Stocking et al., 1988
SWRRB	Físico	Pequeñas cuencas	Continuo	Carga puntual de sedimentos, calidad de agua	Williams et al, 1985, Arnold et al, 1990
CREAMS	Físico	Parcela	Evento/ continuo	Erosión, deposición	Knisel, 1980; Knisel, 1995
GLEAMS	Físico	Parcela	Evento/ Continuo	Escorrentía, erosión, producción de sedimentos, transporte de nutrientes y pesticidas	Leonard et al, 1987; Knisel, 1993
KINEROS/ KINEROS2	Físico	Ladera/ Cuenca	Pequeño Evento	Escorrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Woolhiser et. al., 1990; Smith et. al., 1995
EPIC	Físico	Ladera/ Cuenca	Pequeño. Continuo	Erosión y efectos en la producción de cosechas	Williams et al, 1984; Sharpley e Williams, 1990
MMF	Empírico/ conceptual	Ladera/ Cuenca	Pequeño. Anual	Escorrentía, erosión	Morgan et. al., 1984; Morgan, 2001
PESERA	Físico	Ladera/ Regional	Continuo	Escorrentía, erosión, sedimentos	Kirkby et. al., 1987, 2000
IHACRES-WQ	Empírico/ conceptual	Cuenca	Continuo	Escorrentía, carga de sedimentos	Jakeman et. al., 1990; Jakeman y Hornberger, 1993
THORNES	Conceptual/ empírico	Ladera/ Cuenca	Pequeño Anual	Escorrentía, erosión	Thornes, 1985, 1990

ESTADO DEL ARTE DE LA BIOECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
3.2 MODELOS DE PREDICCIÓN Y LOS CENTROS DE METEOROLOGÍA EN ALC

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Resultados	Referencia (año)
TOPOG	Físico	Ladera	Continuo	Riesgo de erosión, escorrentía, pico máximo solutos, producción de sedimentos	CSIRO Land and Water, TOPOG Homepage
WEPP	Físico	Ladera/Cuenca	Pequeño Continuo	Escorrentía, producción de sedimentos, pérdida de suelo	Foster et. al., 1985; Lane et al, 1987; Laflen et. al., 1989; Flanagan et al,1999
RUSLE	Empírico	Ladera	Anual	Erosión	Renard et. al., 1991, 1994 y 1997
PERFECT	Físico	Parcela	Continuo	Escorrentía, erosión	Littleboy et. al., 1989, 1992
MEDALUS	Físico	Ladera	Continuo	Erosión	Kirkby et al., 1994
SWEAP	Empírico	Parcela/Ladera	Anual	Erosión	Van den Berg y Temple, 1995
SWAT	Físico	Cuenca	Continuo	Escorrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Arnold et. al., 1998
IQQM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Escorrentía, sedimentos, oxígeno disuelto demanda biológica de oxígeno	DLWC, 1995
EROSIÓN 3D	2D-Físico	Cuenca	Evento	Escorrentía, erosión, sedimentos	Schmidt et. al., 1991, 2001
LISEM	Físico	Pequeñas cuencas	Evento	Escorrentía, sedimentos	de Roo et. al., 1994; de Roo e Offermans, 1995; de Roo et. al.,1996
RUSLE-3D	Empírico/conceptual	Cuenca	Anual	Erosión	Mitasova et. al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998
USPED	Empírico/conceptual	Cuenca	Evento/anual	Erosión, deposición	Mitasova et. al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998
SHETRAN	Físico	Cuenca	Evento	Escorrentía, pico máximo, sedimentos, producción de sedimentos	Abbott et al., 1986; Ewen et al., 2000
LASCAM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Escorrentía, sedimentos	Sivapalan, et al., 1996

PARTE II LA BIOECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO 3.- LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
3.2 MODELOS DE PREDICCIÓN Y LOS CENTROS DE METEOROLOGÍA EN ALC

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Resultados	Referencia (año)
GUEST	Físico	Parcela	Continuo	Escorrentía, concentración de sedimentos	Rose et. al., 1997
MIKE-11	Físico	Cuenca	Continuo	Producción de sedimentos, escorrentía	DHI, 1998
EUROSEM	Físico	Pequeñas cuencas	Evento	Escorrentía, erosión, sedimentos	Morgan et. al., 1998
SWIM	Físico	Cuenca/ regional	Continuo	Escorrentía, nutrientes y ciclo del carbono, descarga, erosión	Kryanova et al, 1998
SPL	Empírico/ conceptual	Cuenca	Anual	Erosión fluvial, incisión en ríos	Stock e Montgomery, 1999; Whipple y Tucker, 1999
SEAGIS	Empírico/ conceptual	Cuenca	Anual	Erosión, producción de sedimentos	DHI, 1999
WATEM	Conceptual	Cuenca	Anual	Erosión	Van Oost et. al., 2000
SEDNET	Conceptual/ empírico	Cuenca	Anual/ continuo	Sedimentos en suspensión, contribución del flujo superficial, procesos de rills y gullies	Prosser, et al 2001; Wilkinson et. al., 2005
EMSS	Conceptual	Cuenca	Continuo	Escorrentía, carga de sedimentos	Vertessey et. al., 2001; Chiew e Scanlon, 2001
STREAM	Conceptual	Cuenca	Evento	Escorrentía y erosión	Cerdan et. al., 2001
CASC2D-SED	Físico	Pequeñas cuencas	Evento/ continuo	Escorrentía, pico máximo, erosión y sedimentación separando las partículas por tamaños	Julien e Saghafian, 1991; Rojas e Julien, 2002
AGWA	Conceptual/ físico	Cuenca	Continuo	Escorrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Burns et. al., 2004, 2007

Fuente: (Geler, 2012).

La modelación constituye un procedimiento teórico que implica un conjunto de técnicas con el propósito de formar un cuadro simplificado e inteligible del mundo, como una actividad de reacción del hombre ante la aparente complejidad del mundo que le rodea. Se concibe como el proceso cognitivo que se tiene que llevar a cabo para llegar a la construcción del modelo de un problema u objeto del área del contexto (Christofoletti, 1999). Diversos autores han realizado una caracterización de los procedimientos de modelado en una secuencia de pasos:

- Enunciado de los objetivos o propósitos del modelo que se construirá. Definición del sistema a ser modelado.
- Construcción de la hipótesis. Los enunciados generalmente son verbales, pero también pueden expresar relaciones cuantitativas.
- Formulación matemática. Construcción matemática de las hipótesis cualitativas.
- Verificación. Probar la exactitud de las ecuaciones matemáticas, normalmente utilizando algoritmos informáticos. Conocida como la implementación computacional.
- Calibración. Establecimiento de parámetros de entrada y las condiciones internas del sistema con el fin de verificar la idoneidad de las respuestas. Definir la opción más adecuada de los parámetros ajustados al modelo estableciendo umbrales que representan su uso potencial.
- Análisis y evaluación del modelo. Analizar el modelo o comparar los resultados producidos por el modelo con los datos del modelo de prueba.

Lo anterior precisa de la consideración de los siguientes criterios de calificación:

- Sistema ambiental que modela, se refiere al contexto del proceso o sistema que se quiere modelar. Es decir conocer si el modelo tiene la capacidad de estimar dicho proceso.
- Complejidad, entendido como el conjunto y cantidad de requerimientos que demanda el modelo (Por ejemplo, registros de lluvia, evaporación, caudal, etc.) para su apropiada aplicación.

- Aplicabilidad, definido como la capacidad del modelo para ser aplicada a diferentes ecosistemas y diversas escalas, igualmente, que soporte cambios de cobertura.
- Accesibilidad al modelo, referido a la facilidad del público en general a operar el modelo, es decir, si requiere licencia o no, y qué tan fácil es recibir de los desarrolladores del modelo, asistencia técnica para el manejo.
- Requerimientos técnicos y humanos, este criterio, a pesar de no ser estrictamente una característica del modelo, se refiere a los conocimientos o preparación del modelador (persona que manipula la herramienta) que son determinantes para el funcionamiento del modelo, además de las demandas del modelo por infraestructura de estaciones hidroclimatológicas para satisfacer sus requerimientos de datos.
- Precisión de la estimación de las salidas del modelo, entendido como la capacidad del modelo para captar adecuadamente el mundo real, es decir, que en aplicaciones anteriores sus resultados sean lo más confiables posibles, como es estimar adecuadamente los picos, no subestime o sobreestime la escorrentía, etc.
- Ayudas de calibración, cuyo propósito es auxiliar al modelo a ajustar aquellos parámetros con el fin que se tenga la certeza que el modelo aplicado está representando adecuadamente la realidad y luego tener mayor confianza en el momento de realizar las simulaciones del caso.
- Integración del modelo en Sistema de Información Geográfico (SIG), referida a la capacidad de los SIG para auxiliar en la manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos estadísticos, espaciales y temporales, en el análisis espacial de datos cuantitativos y temáticos. Creación de escenarios y realizar el análisis de sensibilidad en los modelos y la visualización de los resultados.
- El uso de los SIG en la implementación de los modelos facilita el procesamiento de extensas bases de datos y creación de escenarios, ofrece una capacidad para mostrar la distribución espacial de los resultados y la visualización de los resultados, tanto de forma estática o cartográfica como dinámica o a lo largo del tiempo, ya sea de toda el área de estudio o de un punto concreto del paisaje. De igual manera, permiten realizar el análisis de sensibilidad en los modelos mediante la manipulación de las variables de insumo, y estudiar una cuenca

para distintas escalas/resoluciones y sus efectos en la exactitud de la predicción del modelo. Finalmente, una ventaja importante de estas herramientas, sería el ahorro considerable de tiempo, costo y mano de obra para realizar un estudio.

3. Contexto Institucional de los estudios sobre cambio climático a escala internacional

En la Tercera Conferencia Mundial sobre el Clima en Ginebra 2009 (Quezada, 2009) se decidió establecer el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), iniciativa de las Naciones Unidas encabezada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con el fin de orientar la elaboración y aplicación de información y servicios climáticos basados en conocimientos científicos en apoyo a la adopción de decisiones. El Marco Mundial tiene cuatro sectores prioritarios iniciales: la agricultura y la seguridad alimentaria, el agua, la salud y la reducción de los riesgos de desastre.

La visión del MMSC consiste en permitir a la sociedad una mejor gestión de los riesgos y las oportunidades que plantean la variabilidad del clima y el cambio climático, especialmente para quienes son más vulnerables a dichos riesgos, mediante el desarrollo y la incorporación de información y predicciones climáticas basadas en principios científicos a la planificación, las políticas y la práctica. El valor del Marco irá aumentando gradualmente gracias a la prestación de múltiples servicios climáticos a nivel nacional o local.

La OMM se creó en 1950 como organismo especializado de las Naciones Unidas para la meteorología (tiempo y clima), la hidrología operativa y las ciencias geofísicas conexas. Es su portavoz autorizado acerca del estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con los océanos, el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos. Cuenta con 191 Estados y Territorios Miembros (desde el 1 de enero de 2013).

Como el tiempo, el clima y el ciclo del agua no conocen fronteras nacionales, la cooperación internacional a escala mundial es esencial para el desarrollo de la meteorología y la hidrología operativa, así como para recoger los beneficios derivados de su aplicación. La OMM proporciona el marco en el que se desarrolla esta cooperación internacional.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés), o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, fue fundado por la OMM y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988, para “evaluar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión del riesgo del cambio climático inducido por el hombre”,

En su cuarto Informe elaborado en el año 2007 llegó a las siguientes conclusiones:

La temperatura media de la Tierra y, consecuentemente, el efecto invernadero, dependen de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los diferentes escenarios proyectan un aumento de la temperatura de entre 1,8 y 5,4 °C a lo largo del siglo XXI.

La concentración de CO₂ aumentó de 280 a 350 ppmv (partes por millón por volumen) durante la era industrial.

El hombre es el responsable de este aumento, principalmente por la combustión de combustibles fósiles -carbón, petróleo y gas- que ha ocasionado la liberación a gran escala en la atmósfera del dióxido de carbono acumulado de forma natural hace millones de años.

Solo una reducción masiva de las emisiones podría aliviar el futuro cambio climático.

La OMM a través de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales brinda información, apoya la aplicación de varios acuerdos y proporciona asesoramiento y evaluaciones a los gobiernos sobre cuestiones relativas al Cambio Climático.

Esta organización agrupa a sus miembros en las siguientes regiones (fig.1):

ESTADO DEL ARTE DE LA BIOECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
3.2 MODELOS DE PREDICCIÓN Y LOS CENTROS DE METEOROLOGÍA EN ALC

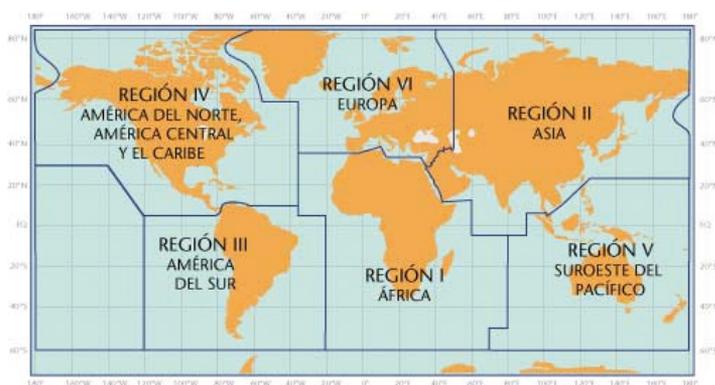


Figura 1. Mapa de regiones y países miembros de la OMM tomada de www.wmo.int/pages/members Dentro de las Regiones III y IV aparecen los siguientes centros que ofrecen servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales (tabla 2 y 3):

Tabla 2. Miembros de la Asociación Regional III (América del Sur)

Países Miembros	Centros
Argentina	Servicio Meteorológico Nacional
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Brasil	Instituto Nacional de Meteorología
Chile	Dirección Meteorológica de Chile
Colombia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Ecuador	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Guyana	Hydrometeorological Service
Paraguay	Dirección de Meteorología e Hidrología
Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Suriname	Meteorological Service
Uruguay	Dirección Nacional de Meteorología
Venezuela (República Bolivariana de)	Servicio de Meteorología de la Aviación

Tabla 3. Miembros de la Asociación Regional IV (América del Norte, América Central y el Caribe)

Países Miembros	Centros
Antigua y Barbuda	Meteorological Services

Países Miembros	Centros
Curaçao y San Martín	Meteorological Service
Bahamas	Department of Meteorology
Barbados	Meteorological Services
Belize	National Meteorological Service
Canadá	Meteorological Service of Canada
Colombia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Costa Rica	Instituto Meteorológico Nacional
Cuba	Instituto de Meteorología
Dominica	Dominica Meteorological Services
El Salvador	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
Estados Unidos de América	National Weather Service
Guatemala	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
Haití	Centre national de météorologie
Honduras	Servicio Meteorológico Nacional
Jamaica	Meteorological Service
México	Servicio Meteorológico Nacional
Nicaragua	Dirección General de Meteorología
Panamá	Hidrometeorología
República Dominicana	Oficina Nacional de Meteorología
Santa Lucía	Meteorological Services
Territorios Británicos del Caribe	Caribbean Meteorological Organization
Trinidad y Tabago	Meteorological Service

Fuente: www.wmo.int/pages/members

Algunos de estos miembros se encuentran en países integrantes de la RED de Bioeconomía y Cambio Climático (REBICAMCLI) asociada al programa CYTED. Sus centros meteorológicos ofrecen servicios especializados dirigidos, que a continuación se relacionan:

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). COLOMBIA.

Adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Sistema Nacional Ambiental.



El IDEAM tiene como misión generar conocimiento y garantizar el acceso a la información sobre el estado de los recursos naturales y condiciones hidrometeorológicas de todo el país para la toma de decisiones de la población, autoridades, sectores económicos y sociales de Colombia y para:

- Sistema Nacional Ambiental: Apoyo a la gestión ambiental de las autoridades ambientales, ordenamiento territorial y conservación de ecosistemas.
- Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres: Prevención y reducción del riesgo asociado a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.
- Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología: Transferencia del conocimiento y tecnologías en temas ambientales y de desarrollo.
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas: Generación de información que contribuya a la conservación y ordenamiento, monitoreo de glaciares, deforestación (bosque, agua, carbono), estructura ecológica principal, pago por servicios ambientales, etc.
- Sistema Mundial de Información: Pronósticos y predicciones mundiales.

Los servicios del IDEAM de información hidrometeorológica, oceanográfica y ambiental del país, la conservación de ecosistemas y la reducción de riesgos en el territorio nacional estarán disponibles para todos los colombianos y los habitantes del mundo, las autoridades nacionales, regionales y locales y los sectores productivos, de manera oportuna y confiable, con fácil acceso y útil para la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo sostenible.

La Subdirección de Meteorología es la encargada de realizar los estudios e investigaciones relacionadas con la atmósfera, el tiempo y el clima del país, además de preparar productos que contribuyan al aprovechamiento del recurso clima, en el mejoramiento y optimización de la producción de

los distintos sectores socioeconómicos del país. En este módulo se podrán consultar las características climatológicas de las diferentes regiones del territorio nacional, el seguimiento a nivel diario, decadal, mensual y anual de las anomalías climáticas, predicciones estacionales del clima, boletines especiales y periódicos sobre fenómenos de origen meteorológico, y notas e informes técnicos en línea sobre diversos temas meteorológicos:

1. Atmósfera
2. Tiempo
3. Clima
4. Aplicaciones Meteorológicas
5. Cambio Climático

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER). NICARAGUA.



INETER

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

Dentro del INETER de Nicaragua, la Dirección General de Meteorología es la instancia responsable de operar y explotar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, realizar la vigilancia meteorológica para prever los desastres producidos por fenómenos peligrosos de origen meteorológico y emitir notas informativas y avisos informativos sobre su comportamiento, garantizar el servicio de información a la navegación aérea y marítima nacional e internacional: y generar información meteorológica básica y elaborada para diferentes usuarios de la vida nacional.

La Dirección General de Meteorología tiene como propósitos determinar la política general de la actividad meteorológica. Apoyar la implementación de las convenciones internacionales relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, como la de Cambio Climático y el Protocolo de Montreal. Además de cumplir con los compromisos establecidos por INETER en el ámbito de su competencia: ante la Organización Meteorológica Mundial, el PENUMA, el CRRH y con instituciones del estado. De igual manera debe mantener una comunicación permanente con los centros meteorológicos regionales a fin de tener acceso a la información meteorológica básica y procesada que no permita garantizar la atención al público, la realización de análisis y estudios y las labores de prevención ante la incidencia de fenómenos meteorológicos peligrosos.

Es la instancia responsable de operar y explotar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas; realizar la Vigilancia Meteorológica Nacional, elaborar y difundir de manera oficial el pronóstico del tiempo, notas informativas, avisos y alertas; para contribuir con la reducción del impacto de los fenómenos meteorológicos peligrosos que producen desastres naturales; garantizar el servicio de información a la navegación aérea y marítima nacional e internacional; y generar información meteorológica básica y elaborada para diferentes usuarios de la vida nacional.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL DE HONDURAS. (SMNH) HONDURAS



El SMNH tiene como misión promover estudios de las condiciones atmosféricas mediante técnicas y métodos científicos para la elaboración de pronósticos para la información pública sobre los fenómenos naturales que puedan afectar el clima, la navegación aérea y marítima y sobre todo en la prevención de desastres causados por fenómenos naturales extremos como los ciclones tropicales.

El SMNH será un centro que aportar a la población hondureña los elementos técnicos y científicos necesarios en el área de la Meteorología que le permitan establecer medidas de adaptación ante las adversidades causadas por los fenómenos naturales y encaminar al país hacia un desarrollo sustentable.

Es la instancia responsable de proporcionar la información de clima y el estado del tiempo que ha de tenerse en cuenta en todo programa de desarrollo económico para evaluar gastos energéticos y de recursos naturales; para realizar a tiempo predicciones meteorológicas y los avisos de inundaciones necesarios para garantizar la vida humana y la eficacia en la explotación de los recursos; en las actividades agrícolas la planificación, siembra, cosecha y transporte utilizan los servicios meteorológicos para desarrollarlos. Además aporta el conocimiento en tiempo pasado, presente y futuro que pueden ser utilizados para resolver problemas de selección de cultivo, selección de animales y métodos de cría, determinación del tiempo favorable para la siembra corte y recolección de las cosechas, planificación de repoblación forestal y de horas de riego para suplir el déficit de lluvias o para aumentar el rendimiento de las cosechas y los beneficios agrícolas,

la lucha contra las plagas que amenazan los cultivos como la langosta que con la humedad se reproduce más y con el aprovechamiento del viento se desplazan los enjambres, por lo que la meteorología desempaña una función importante en la lucha contra esta plaga.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO (SMNM).

Adscrito a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).



El SMNM tiene como misión proveer pronósticos, alertas e información del estado del tiempo y del clima estratégica y útil para el país, que sustente la toma de decisiones. Se propone sea reconocido por la sociedad como una organización efectiva y moderna que proporciona información confiable, útil y oportuna sobre meteorología y climatología para contribuir a una adecuada prevención y toma de decisiones, aplicando innovaciones tecnológicas y avances científicos con personal altamente calificado.

Para llevar a cabo sus objetivos el Servicio Meteorológico Nacional cuenta con una red de estaciones sinópticas de superficie y de altura; radares meteorológicos y estaciones receptoras de imágenes satelitales que se utilizan para detectar, identificar y dar seguimiento a los fenómenos meteorológicos severos como tormentas, frentes fríos o huracanes. Por medio de las imágenes también se puede estimar la intensidad de la precipitación. Esta información es utilizada por los meteorólogos en la elaboración de sus pronósticos para cada región del país.

El SMN difunde su información en forma de boletines o avisos especiales ya sea vía telefónica, fax, módem ó en internet, al Sistema Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación; la Secretaría de la Defensa Nacional; la Secretaría de Marina; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; las Gerencias de la Comisión Nacional del Agua; Petróleos Mexicanos; la Comisión Federal de Electricidad; la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; la Secretaría de Turismo; la Secretaría de Salud; el Gobierno del Distrito Federal y los Estados; universidades e instituciones educativas de todos los niveles; medios masivos de comunicación, empresas de todo tipo, laboratorios químicos, hospitales, aseguradoras y público en general.

INSTITUTO DE METEOROLOGÍA DE CUBA (INSMET).

Adscrito al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).



La Misión principal del Instituto de Meteorología es suministrar información meteorológica y climática autorizada, confiable y oportuna sobre el estado y comportamiento futuro de la atmósfera. Esta información está dirigida a velar por la seguridad de la vida humana y a reducir las pérdidas de bienes materiales ante desastres naturales de origen meteorológico, contribuyendo directamente al bienestar de la comunidad y al desarrollo sostenible.

Para cumplir su misión el Instituto de Meteorología opera el Servicio Meteorológico como Sistema Nacional y lleva a cabo un amplio plan de investigaciones para perfeccionar el propio servicio y contribuir al desarrollo de los conocimientos científicos de la meteorología.

A escala territorial (provincias) existen 14 Centros Meteorológicos Provinciales (CMP) que desarrollan actividades relacionadas con la aplicación de pronóstico, la investigación científica (meteorología aplicada como la agrometeorología), la información y las comunicaciones y la atención a Redes de Estaciones (GARE).

4. Experiencias cubanas de utilización de modelos de predicción en la Eco Intensificación.

El Instituto de Meteorología de Cuba, (INSMET) y sus dependencias provinciales y municipales, han utilizado desde los años 90 del siglo pasado los modelos biofísicos e índices bioclimáticos para ofrecer el servicio agrometeorológico destinado a la producción de alimentos. Se crearon sistemas de vigilancia y alerta meteorológica y agrometeorológica de fenómenos como la sequía, junto a otras aplicaciones potenciales, como los monitoreo a las condiciones agrometeorológicas para los agroecosistemas naturales y de cultivo, a la humedad de los suelos para fines agrotécnicos, a los indicadores de sequía agrícola, los pronóstico de condiciones de humedad para la siembra, riego y del rendimiento agrícola de los principales cultivos, mediante el uso de modelos biofísicos, la evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre la producción

agrícola, ganadera y forestal y la determinación de la influencia de los factores climáticos sobre los procesos de desertificación.

La figura 2 ilustra los principales índices agrometeorológicos resultado de los sistemas de vigilancia y alerta temprana en la cual la modelación climática y biofísica es la herramienta fundamental para la obtención de los resultados que aportan información indispensable a los productores agrícolas y tomadores de decisión en el sector agrario.

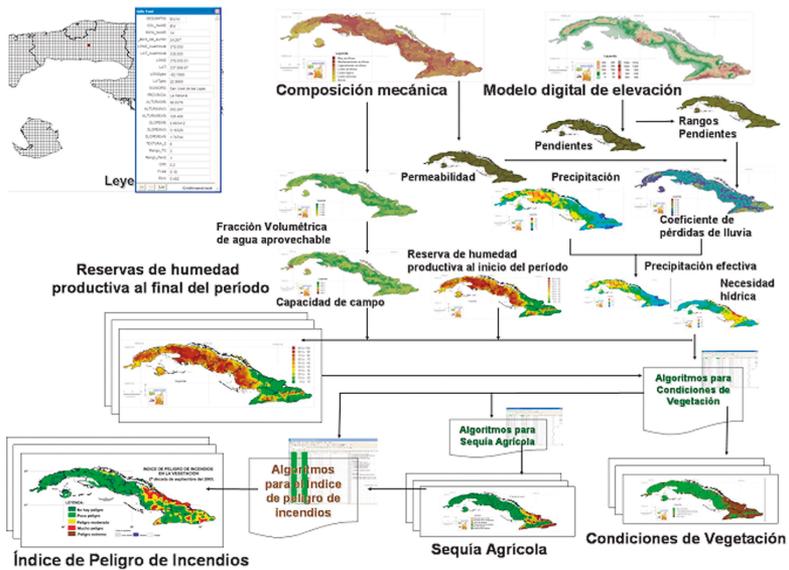


Figura 2. Resultados de la modelación climática y biofísica.

A pesar de que se ha identificado en estudios de autores nacionales, que entre las posibles medidas y estrategias de adaptación al cambio climático en el sector agrario las ciencias del clima en la producción agraria reviste un importantísimo rol, la tabla 4 ilustra la evolución y características de los sistemas de alerta para la sequía meteorológica y agrícola que el INSMET y sus dependencias provinciales ejecutan.

Tabla 4. Características de los sistemas de alerta para la sequía meteorológica y agrícola que el INSMET.

Modelo	Lapinel	Rivero	Solano
Accesibilidad:	V 1.0: libre y repartido v 2.0 y superiores: Propietario (solo lo manipula el CNC)	Disponible libremente. Algunas provincias lo tienen	Propietario (solo lo ejecuta una persona)
Paso temporal	Mensual	SAT-I, SAT-II: Variable III y IV: solo diario	Decenal
Paso temporal de visualización	Mensual	III-IV: Cualquiera (diario, decenal, mensual, anual o intervalo arbitrario) I-II: Según análisis mediante MonBAAna	Decenal
Forma de visualizar otros pasos temporales y resúmenes	Manual	Automático, pocos segundos	Semiautomático ejecutan scripts SIG
Pronóstico implementado	Climático a largo plazo (6 meses)	I y II: hasta 5 días III: en desuso IV: no implementando	Climático (1 mes)
Sistema de mapeificación	No, se requiere mapeadores foráneos	I y II: No III y IV: Propietario	SIG
Arquitectura	v 1.0: Standalone 2.0+: Cliente/Servidor y herramientas Standalone	I a III: Standalone IV: Cliente/Servidor	scripts SIG
	Si	Simulado	Si
	Windows	Windows, compilable a Linux (sin WCC)	Windows

Fuente: Elaborada por los autores como resultado de la búsqueda bibliográfica.

Recientemente se han culminado los estudios relativos al tema para la II Comunicación Nacional de Cambio Climático (II CNCC), sin embargo la falta de datos agrícolas para las parametrizaciones fueron escasos, no obstante, se dispone de resultados interesantes al respecto.

Con la modelación de los impactos de la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario en los últimos 15 años, el INSMET ha buscado preparar al país y a los productores agrícolas para que sean conscientes del papel que juega el clima sobre la producción agrícola alimentaria y comercial, prepararlos para adaptarse mejor al cambio climático futuro y sus consecuencias, y elevar capacidades para que nuevas medidas de adaptación surjan espontáneamente en el campo y sean generalizadas a la mayor brevedad posible.

La evaluación del impacto de los cambios climáticos sobre la producción agrícola, se realiza mediante los múltiples modelos que han estado disponibles:

- DSSAT 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 (propietario)
- CANEGRO 1.0 (donado)
- WOFOST 4.1 y 7.1.2 (donado)
- AquaCrop 3.0 (libre)
- Aqua (1993)
- SPUR2
- Century 3.0, 4.0, 4.5 y 5.0 (donados)
- GGLAWN (donado)

Los resultados más importantes del INSMET relacionados con el tema son los Estudios de PROYECCIÓN FUTURA DE ÍNDICES AGROCLIMATICOS DE INTERES PARA CUBA. Se construyó la línea base del período de referencia 1961-1990 y las proyecciones futuras para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099,

Se elaboraron los mapas de los indicadores, “evapotranspiración de referencia, índice de aridez, sequía agrícola, susceptibilidad de ocurrencia de incendios en la vegetación, fechas de inicio, fin y duración de períodos de interés agrícola como: crecimiento, húmedo y seco”.

La figura 3 presenta la aplicación de los modelos de balance hídrico en la zona de la rizosfera, que permitió modelar la proporción en la que los impactos de la alta evapotranspiración y la lluvia disminuida a futura, generan un decrecimiento o alargamiento de los períodos de crecimiento de los cultivos, así como el adelanto o retraso en las fechas de inicio y fin de los mismos.

ESTADO DEL ARTE DE LA BIOECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
3.2 MODELOS DE PREDICCIÓN Y LOS CENTROS DE METEOROLOGÍA EN ALC

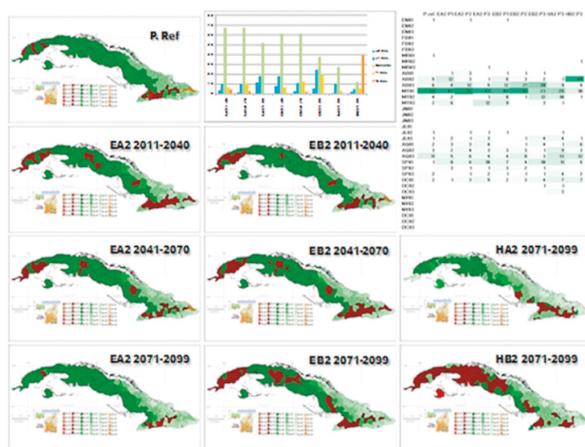


Figura 3. Resultado de los modelos de balance hídrico en la zona de la rizofora

Cuba posee una gran experiencia en el uso de modelos biofísicos de cultivo, como los que están disponibles en la plataforma BioMA empleada en Europa para el servicio de información y pronóstico agrícola. Los trabajos realizados en este sentido provienen principalmente de la necesidad de estimar los impactos negativos del cambio climático sobre la producción agrícola y animal en Cuba.

Tales modelos son las herramientas de elección recomendadas para estos fines. Los modelos biofísicos de cultivo no son modelos estadísticos ya que se basan en la modelación explícita o parametrizada de los procesos fisiológicos y la fenología de las plantas y animales de producción. Pero el uso de los modelos biofísicos no se limita a la estimación del impacto de los cambios climáticos pues también se emplean para otros muchos fines aplicados en las condiciones de clima histórico y actual.

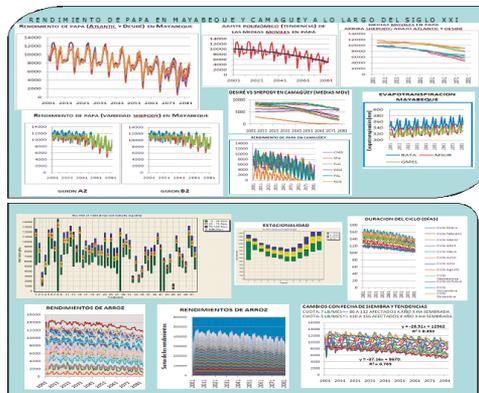
Para el caso de cultivos agrícolas y bosques se han empleado básicamente los modelos de cultivo, basados o no en índices climáticos:

- Modelo Zonas Agroecológicas FAO en 1995
- Modelos WOFOST 4.1 y DSSAT 3.0 en 1998-1999
- Modelo de Impacto sobre Ecosistemas Naturales en 1998 – 2011.
- Modelo Integrado de Impactos Agrícolas (MIIA 1.0 y 2.0) en 2001-2005

- Modelos WOFOST 7.1.2, DSSAT 3.5 y 4.0 en 2003 – 2011
- Modelo pastizal/rebaño SPUR 2.2
- Modelos basados en Índices Climáticos desde 1998
- Otros modelos de apoyo.

La primera aproximación a la valoración de los posibles impactos del cambio climático sobre el sector agrícola (cañero y no cañero) fue realizada en el marco de la Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, a partir de las proyecciones climáticas obtenidas empleando el modelo HADCM2 para diferentes niveles de sensibilidad climática. Para ello, los elementos considerados en la evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura fueron los rendimientos agrícolas, la producción total de los cultivos, la biomasa aérea de los pastos y las plagas. En ella participaron el Instituto de Meteorología (INSMET), el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova (IIHLD) y el Instituto de Investigaciones en Sanidad Vegetal (INISAV).

A finales del 2008 se iniciaron las acciones encaminadas a la preparación de la Segunda Comunicación Nacional, la Dirección de Ciencia y Técnica del MINAG acometió la creación de la Red Agraria de Cambio Climático (RACC), con la misión de coordinar y facilitar la investigación, la capacitación, la mitigación y la adaptación al cambio climático en el sector agrario y se acometió la identificación de las producciones agrarias que serían consideradas prioritarias a la luz de este tema y entre ellas, seleccionó las de papa, arroz, tabaco y carne de cerdo para participar, de manera directa, en la Segunda Comunicación.



La figura 4 muestra los resultados de estudios de impactos y adaptación por parte del grupo de modelación de INSMET, grupo provincial Camagüey para el caso de los cultivos de la papa y el arroz.

Figura 4. Estudios de impactos y adaptación de los cultivos de la papa y el arroz

En este estudio del impacto del cambio climático en la productividad y uso del agua en papa y arroz con aplicación de nuevas metodologías de construcción de escenarios climáticos, se infiere que:

- El uso del agua depende más de las condiciones climáticas que de la variedad del cultivo sembrado en el campo.
- Se aprovecha muy poca agua de riego en la transpiración del cultivo, más de la mitad se desperdicia sin llegar a la atmósfera, pues el agua de riego aprovechada en la ET es de 39-47%.
- La variedad Shepody presenta mayor resistencia al cambio climático.
- Los rendimientos agrícolas disminuirán irremisiblemente con el cambio climático, pero, aún hay opciones de adaptación.

En el **Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola** (IAgric) y el **Instituto de Suelo** (IS) se han identificado varios temas relacionados directa e indirectamente con esta temática como son la modelación de funciones agua rendimiento, factor de respuesta al agua e indicadores de productividad para cultivos agrícolas; las normas de riego, coeficientes de cultivo, necesidades hídricas en general, el trabajo con modelos de simulación de balance hídrico y crecimiento de cultivos; los estudios sobre estrés hídrico en el cultivo del arroz; la determinación de eficiencias de sistemas de riego; los parámetros para drenaje agrícola; los estudios de factibilidad económica de proyectos de riego; los parámetros de funcionamiento hídrico de los suelos con fines de riego y drenaje; .

- Herramientas de extensión agraria.
- Aplicaciones SIG para gestión de tecnologías de riego y mecanización.
- Estudios de suelos
- Estudios de suelos. Aplicaciones SIG para mapas temáticos de suelos.

Dentro de las experiencias del IAGRI se encuentra la aplicación de los Modelos de Sistemas de Cultivos para diversos usos tales como: modelos de crecimiento y rendimiento de cultivos, manejo de riego, manejo de plagas, agricultura de precisión, predicciones de rendimientos, análisis de rotación de cultivos, manejo de la nutrición del cultivo (en particular N), planificación de uso de la tierra, evaluación de cambio climático, riesgo económico, etc.

La aplicación de los modelos MACRO y STICS para la predicción del comportamiento de cultivos agrícolas ante diferentes manejos de agua, fertilización y ambientes climáticos ha sido muy útil. Los cultivos analizados son maíz, frijol, arroz, tomate entre otros.

Otros modelos empleados han sido el Modelo de Balance Hídrico WINISAREG con enfoque de coeficiente de cultivo único y el Modelo de Balance Hídrico con enfoque de coeficiente dual de cultivos (SimDualK).

El **Instituto de Ciencia Animal (INCA)** en colaboración con el INSMET, el Instituto de Suelos y el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola también posee una serie de resultados que tributan a la temática.

Entre los años 2008 y 2011 se desarrolló un proyecto con el objetivo de aplicar herramientas de modelación para el análisis de las respuestas de las interacciones planta- ambiente-manejo en distintos escenarios de la producción de cultivos de cereales en Cuba; en el mismo participaron las siguientes instituciones: INCA, INSMET, IS e IIAA. Se ejecutaron un total de 19 experimentos en los cultivos de arroz, maíz, sorgo y trigo en diferentes condiciones edafoclimáticas para obtener la información necesaria para introducir en el Modelo de Simulación DSSAT versión 3,5.

Los experimentos desarrollados por el INCA en cultivos y su localidad son: arroz en el municipio Los Palacios P. del Río, maíz INCA y Guantánamo, sorgo INCA, Los Palacios P. del Río y Guantánamo y trigo INCA y Guantánamo.



Figura 5. Ejemplo de campos experimentales con presencia de cultivares de maíz, sorgo y trigo.

La experiencia de la aplicación de los modelos de cultivos en el caso del INCA les ha permitido concluir que: DSSAT ofrece resultados satisfactorios en los sitios aplicados lo cual permite su utilización para la predicción del comportamiento de los cultivos de arroz, maíz, sorgo y trigo, en escenarios futuros y en otras condiciones edafoclimáticas. En las condiciones actuales el modelo DSSAT propicia información valiosa para lograr altos rendimientos y una elevada productividad en los cultivos anteriormente señalados. Se evidencia la afectación que sobre los rendimientos tendrán los cambios climáticos, de acuerdo a lo pronosticado, en los cultivos de arroz, maíz, sorgo y trigo, resultando dicha afectación en mayor o menor cuantía en dependencia de la fecha en que se siembren, dado fundamentalmente por el aumento de la temperatura. Se cuenta con una amplia base de datos de clima y suelo del país, y fundamentalmente con información de los indicadores de productividad de los cultivos estudiados, siendo esto novedoso en el caso de Cuba lo cual por primera vez se ejecuta.

El **Grupo de Investigaciones Agro físicas** (GIAP) de la UNAH ofrece un amplio abanico de experiencias en los modelos de cultivos. En el GIAP hasta el momento, han sido aplicados los modelos SWAP, ANIMO, HYDRUS. Estos se han utilizado para evaluar el efecto de cambios climáticos o de suelos, evaluar el uso del agua y los rendimientos de diversos cultivos. También han elaborado las funciones de pedotransferencias para la CRH en suelos de las provincias Mayabeque y Artemisa, por lo que hoy se dispone de curvas de retención de humedad para estos suelos.

Dentro las principales aplicaciones se pueden mencionar:

- Cambios en los rendimientos de la papa según clima o regímenes de riego. (Modelo SWACROP)
- Cambios en los rendimientos de la caña de azúcar según clima o suelos. (Modelo SWAP)
- Efectos del fenómeno del Niño en varios países latinoamericanos. (Modelo SWAP)
- Efectos de la humedad del suelo en los rendimientos de la caña de azúcar en la Isla de Jamaica. (Modelo SWAP)
- Aplicación del Sistema SWAP-ANIMO en una región de Valencia.
- Aplicación del modelo HYDRUS para evaluar el agua que percola en un perfil de suelo Ferralítico Rojo.

El **Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)** es otra de las instituciones nacionales que ha trabajado con modelos entre los que se pueden mencionar:

- El CROPWAT (IIRD)
- El SWAT (grupo de Agrofísica, UNAH)
- El Agroclim-Map (InSTEC, Dpto. Meteorología)
- El Stella (InSTEC, Dpto. Meteorología) software para hacer simulaciones de sistemas.

El **Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT)**, también es otra de las instituciones que ofrece un abanico de investigaciones aplicadas donde la modelación de cultivo cobra es base, es el caso de:

Estudio de las amenazas y fortalezas ante el cambio climático de los recursos filogenéticos de la colección tradicional de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Algunas experiencias del INIFAT en la aplicación de modelos matemáticos a la conservación de semillas, con la generación de un programa computarizado para predecir la viabilidad de las semillas durante su almacenamiento.

Con la modelación de los impactos de la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario en los últimos 15 años, el INSMET ha buscado preparar al país y a los productores agrícolas para que sean conscientes del papel que juega el clima sobre la producción agrícola alimentaria y comercial, prepararlos para adaptarse mejor al cambio climático futuro y sus consecuencias, y elevar capacidades para que nuevas medidas de adaptación surjan espontáneamente en el campo y sean generalizadas a la mayor brevedad posible.

Se cuenta actualmente con diversas herramientas para el servicio agrometeorológico, algunos totalmente dedicados, y otros que lo incluyen tan solo como valor agregado, entre ellos podemos citar, no sin el riesgo de dejar fuera algunos que estén en aplicación en centros aislados, con una pequeña reseña de sus ventajas e inconvenientes:

- Servicio de Vigilancia Agrometeorológica para el Cultivo de Tabaco
- Aplicaciones Agrometeorológicas de los Modelos Hidrodinámicos de Pronóstico
- SAMPA: Sistema de Aseguramiento Meteorológico a la Producción de Alimentos
- Los Sistemas de Seguimiento Agrometeorológico Decadal de la Sequía Agrícola e Incendios Forestales
- Sistema de Pronóstico de Rendimientos para la Papa

Ninguna de las anteriores plataformas es la ideal, sin embargo, su integración resultaría un producto sólido de posibilidades, teniendo en cuenta las características de los modelos, algunos propios muy primitivos desarrollados sobre formulaciones básicas, y otros más avanzados desarrollados por terceras partes, el DSSAT, el WOFOST, el CANEGRO, el AquaCrop, el Aqua (1993), el SPUR2, el Century, el GGLAWN (donado), el CropWat, el CropSuite dan muestra de lo complejo que resulta el proceso de integración (tabla 5).

Tabla 5. Algunos modelos que reflejan la complejidad de sus variables para la integración.

Modelo:	DSSAT	WOFOST	AquaCrop
Accesibilidad:	Propietario	Libre por momentos*	Libre
Cultivares:	Bastante, no suficientes	Relativamente Pocos	Pocos
Variedades:	Bastantes, pero pocas en uso en Cuba	Una por cultivar	Una por cultivar
Suelos incluidos	Bastantes	Pocos (genéricos)	Pocos (genéricos)
Editor de suelos y clima	Sí	No	Sí
Incluye Manejo Ag.	Sí	Extra limitado (solo surface storage)	Muy limitado
Fertilizantes	Sí	Sí, módulo separado	No
Riego	Sí	Simulado	Sí

Fuente: Elaborada por los autores como resultado de la búsqueda bibliográfica.

Desde inicio del año 2013 dentro del proyecto Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (BASAL) se trabaja en la asimilación de la plataforma BioMA, que pone a disposición del proyecto el Centro de Investigación Común de la Unión Europea, más desarrollada que las disponibles hasta el momento en el sistema agrometeorológico, en ella se integra el pronóstico meteorológico y las imágenes satelitales con los modelos biofísicos y otras aplicaciones como las mencionadas.

BioMA, es una plataforma de modelos biofísicos que permite correr una extensible cantidad de soluciones de modelo en función de una base de datos explícitamente espacial. La misma se inserta dentro de las actividades que el grupo de la Unidad de Monitoreo de Recursos Agrícolas (MARS) del Centro Común de Investigaciones de la Unión Europea (JRC), a través de los avances obtenidos en cuanto a los pronósticos agrícolas (AGRI4CAST) y han llevado al desarrollo de bases de datos climáticos de Europa, y áreas en América Latina, Asia, y África.

5. Consideraciones finales

Para la adaptación al cambio climático es necesario conocer el comportamiento de las principales variables meteorológicas como el aumento de la temperatura, la elevación del nivel medio del mar, los cambios en los ritmos o cantidad de precipitaciones y el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos ya que cualquier acción preventiva o de adaptación en ese sentido, significará a la postre menos costos destinados a la recuperación y menores pérdidas en sentido general.

La construcción de los escenarios resulta entonces una herramienta para identificar los problemas y ayudar a la toma de decisión y planificación y la modelación constituye una de las principales técnicas utilizada dentro de la construcción de escenarios, para evaluar al futuro un conjunto de variables que los describen.

Reviste extraordinaria importancia la integración de los países en aras de socializar la información en la región de América Latina y el Caribe y llegar a ajustar los escenarios al desarrollo de la agricultura.

Referencias

- Alatorre, L. C. y Beguería, S. (2009): Los Modelos de Erosión: Una Revisión. *Rev. C&G*, 23 (1-2) ISSN: 0214-1744.
- Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. Williams. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment: Part I - model development. *Journal of American Water Resources Association*. 34(1): 73-90. Disponible en: <http://ssl.tamu.edu/media/11951/large%20area%20hydrologic%20modeling%20and%20assessment%20part%201.pdf>
- Beasley, D.B., and Huggins, L.F. (1980): ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Simulation) - User's Manual. Department of Agricultural Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Bueno, R.; Herzfeld, C.; Stanton, E.; Ackerman, F. (2008): El caribe y el cambio climático. Los costos de la inacción, Ed. Stockholm Environment Institute—US Center, y Global Development and Environment Institute, Tufts University, 35 p.
- CEPAL (2011): The economics of climate change in the Caribbean, Ed. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Resumen Ejecutivo, Oficina Subregional para el Caribe, Puerto España, Trinidad y Tobago, 175 p.
- CEPAL y GTZ (2009): Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña, documento de proyecto, Ed. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), Santiago de Chile, 148 p.
- Christofolletti, A. (1999): Modelagem de sistemas ambientais. Editora Edgard Blucher LTDA.. 236p.
- de Coursey, T. E. (1991). Hydrogen ion currents in rat alveolar epithelial cells. *Biophysical journal*, 60(5), 1243-1253.
- Hughes, Lesley (2001), "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?" (in english), *Trends in Ecology and Evolution* 15 (2): 56-61, doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4, ISSN 0169-5347
- de Roo, A. P. (1993). Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using geographical information systems: validity and applicability of the ANSWERS' model in two catchments in the loess area of South Limburg (The Netherlands) and one in Devon (UK) (p. 304). Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.
- Dixon, J.; Fallon, L.; Carpenter, R.; y Sherman, P. (1998), Análisis económico de impactos ambientales, Earthscan, Reino Unido
- Easterling, W., Crosson P., Rosenberg N., McKenney M., Katz L. A. y Lemon M, (1993): "Agricultural impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri- Iowa, Nebraska-Kansas (MINK) region", *Climate Change*, 24(1,2): 23-62
- Galindo, L. M (coord.) (2010): La economía del cambio climático en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, ISBN 978-607-7908-06-07, 443 p.
- Geler, T. R. (2012): Dinâmica da produção de sedimentos devido a mudanças no uso da terra: Estudo de caso na bacia de Chambas, Província Ciego de Ávila, Cuba. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas/SP, Brasil.
- INSMET (2012): Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- IPCC; (2007): Resumen para Responsables de Políticas. En, *Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*, M. L. Parry; O. F. Canziani; J. P. Palutikof; P. J. van der Linden y C. E. Hanson; Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Knisel, W.G. (1980): CREAMS: A Field scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA, Science and Education Administration, Conservation Report No. 26 Government Printing Office, Washington D.C., 640pp..

- Knutti, Retto; Hegerl, Gabriele C. (2008), "The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes" (in english), *Nature Geoscience* 1 (11): 735-743, doi:10.1038/ngeo337, ISSN 1752-0894, <http://www.iac.ethz.ch/people/knuttitr/papers/knutti08nat-geo.pdf>
- Lane, L. J., and M. A. Nearing, eds. (1989): *USDA Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile model documentation*. NSERL Report No. 2. West Lafayette, Ind.: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Logreira A. R. (2009): *Metodologías técnicas en el ámbito biofísico para la determinación y monitoreo de los servicios ambientales relacionados con regulación hídrica y control de sedimento, y su relación con el uso del suelo*. Convenio de Asociación No. 116 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) – Patrimonio Natural-Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, Republica de Colombia. Disponible en: http://www.patrimonionatural.org.co/cargaarchivos/centroDoc/informe_regulaci%C3%B3n-h%C3%ADdrica.pdf
- Markandya, A.; Hunt, A.; Boyd, R.; Taylor, T.; (2004): *Metodología para valorar los costes de los impactos del cambio climático*, *Revista Economía*, No. 57, pp. 154-215.
- Merritt, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. (2003): A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18, 761-799.
- Morgan, R.P.C., Morgan, D.D.V. and Finney, H.J. (1984): A predictive model for the assessment of erosion risk. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 30, 245-253.
- Nearing, M. A., Foster, G. R., Lane, L. J., & Finkner, S. C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Trans. ASAE*, 32(5), 1587-1593.
- Quesada, J. L. D., & Certificación, A. E. D. N. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Asociación española de normalización y certificación ed..
- Roe, G. H., and M. B. Baker (2007), Why is climate sensitivity so unpredictable? *Science*, 318, 629-632, doi:10.1126/science.1144735. CrossRef, PubMed, CAS, Web of Science® Times Cited: 148, ADS
- Schnellhuber, Hans Joachim (2008), "Global warming: Stop worrying, start panicking?" (in english), *PNAS* 105 (38): 14239-14240, doi:10.1073/pnas.0807331105, ISSN 0027-8424
- Schoute, J.F.T.H. et al. (1995): *Scenario Studies for the Rural Environment*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands., 11-13p.
- Stainforth, David A., et al. (2005). "Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases." *Nature* 433.7024 (2005): 403-406.
- Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Stern, Nicholas (2008), "The Economics of Climate Change" (in english), *American Economic Review* 98 (2): 1-37, doi:10.1257/aer.98.2.1, ISSN 0002-8282, http://www.bioenergy-world.com/americas/2006/IMG/pdf/stern_summary___what_is_the_economics_of_climate_change.pdf
- Walther, Gian-Reto; Post, Eric; Convey, Peter; y otros (2002), "Ecological responses to recent climate change" (in english), *Nature* 416 (6879): 389-395, doi:10.1038/416389a, ISSN 0028-0836, <http://eebweb.arizona.edu/courses/Ecol206/Walther%20et%20al%20Nature%202002.pdf>