Organización Internacional del Azúcar

Cambio climático y cultivos azucareros

Mayo de 2013

MECAS(13)07

Cambio climático y cultivos azucareros
MECAS(13)07
MAYO 2013

15 de mayo de 2013

Sinopsis

Éste es el primer estudio de la OIA que investiga la relación entre el cambio climático y la agricultura, poniendo énfasis especial en los cultivos azucareros. Existe la percepción de que el calentamiento global podría aumentar la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos tales como inundaciones y sequías afectando negativamente a la productividad agraria general, incluyendo a la producción de caña de azúcar y de remolacha azucarera. Fenómenos meteorológicos severos como los de El Niño/La Niña han dañado hace poco las cosechas de grandes productores mundiales de azúcar, obligando a estos países a dedicar más atención al problema del cambio climático. Este estudio tiene tres objetivos principales: a) revisar la literatura existente sobre cambio climático, agricultura y cultivos azucareros; b) examinar la relación entre cambio climático o, más concretamente, los cambios a largo plazo en las precipitaciones y temperaturas, y los rendimientos remolacheros/cañeros; c) resumir las principales estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático con las que cuentan los productores de cultivos azucareros.

Cabe observar que la temperatura media y, a veces, el nivel de precipitaciones ha subido con mayor rapidez en los productores de remolacha que en los productores de caña. Los cambios de temperatura media de las regiones productoras de remolacha han alcanzado aproximadamente 1,5° C durante los últimos 50 años, frente a una subida por lo general inferior a 1° C para las regiones productoras de caña. En su mayor parte esto ha beneficiado a los rendimientos remolacheros. También parece improbable que el cambio climático sea motivo de gran preocupación para algunas grandes regiones productoras de caña como el sur de Brasil y el este de África. La evidencia de un impacto positivo de los aumentos de temperatura en los rendimientos del sur de Brasil y del este de África demuestran que la principal amenaza del cambio climático hacia los cultivos de caña no es el calentamiento global *per se,* sino más bien el posible incremento de la frecuencia de fenómenos extremos como las sequías o los ciclones. Las regiones cañeras con mayor variabilidad anual de precipitaciones, como puedan ser por ejemplo Ingham en Australia y KwaZulu Natal en Sudáfrica, sufren más por los fenómenos meteorológicos extremos, cuya intensidad y frecuencia podría aumentar todavía más con el cambio climático.

La primera parte del estudio explica los criterios adoptados por los científicos a la hora de valorar el cambio climático, incluyendo seis escenarios básicos desarrollados por el IPCC, el referente actual para modelos de investigación sobre cambio climático. También resume los vínculos entre las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios de temperatura y de precipitaciones, incidiendo en los lugares donde se espera que el cambio climático afecte más profundamente a la agricultura, incluyendo los efectos de El Niño/La Niña. La segunda parte del estudio valora el cambio climático en el contexto de los cultivos azucareros destacando los principales patrones de los cambios en los rendimientos remolacheros/cañeros con respecto a los cambios de temperaturas y de precipitaciones, formando relaciones a través de un modelo econométrico siempre que sea posible. La tercera parte del estudio examina el modo en el que los productores de remolacha y de caña de países desde Australia a Centroamérica se están adaptando e intentando mitigar los efectos del cambio climático, especialmente después de los últimos fenómenos meteorológicos extremos como el de La Niña en 2010/11.

Organización Internacional del Azúcar

One Canada Square
Canary Wharf
Londres E14 5AA

Consultas generales:
00 44 20 7513 1144

Publicaciones:
00 44 20 7715 9436

Correo electrónico:
economics@isosugar.org

Página web:
www.isosugar.org

CONTENIDOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS III

INTRODUCCIÓN 1

SECCIÓN 1: CAMBIO CLIMÁTICO Y AGRICULTURA 2

EL IPCC: EL REFERENTE INSTITUCIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO 2
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO 3
FUTUROS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 5
CUADRO 1: MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL 6
PROJECCIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS 10
CUADRO 2: IMPACTO REGIONAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA 12
FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS: EL EJEMPLO DE EL NIÑO Y LA NIÑA 13
CUADRO 3: EL FENÓMENO DE LA NIÑA DE 2010/11 16

SECCIÓN 2: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CULTIVOS AZUCAREROS 16

EVIDENCIAS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CULTIVOS AZUCAREROS 17
EL MODELO DE LA OIA PARA LA CAÑA/REMOLACHA 23
RENDIMIENTOS, TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES EN GRANDES REGIONES PRODUCTORAS 23
EL MODELO ECONOMÉTRICO 27

SECCIÓN 3: MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO 32

CUADRO 4: EL PROTOCOLO DE KIOTO DE LA CONVENCIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SISTEMA DE INTERCAMBIO DE EMISIONES DE LA UE 33
CAÑA DE AZÚCAR 33
REMOLACHA AZUCARERA 36

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS PARA LOS CULTIVOS AZUCAREROS 38

APÉNDICE 40

Índices

Índice de tablas

Tabla 1 – Valores previstos de subidas globales de temperatura del IPCC
Tabla 2 – Cambios al Índice Oceánico el Niño 3.4 (ONI) en grados centígrados
Tabla 3 – Años de fenómenos El Niño/La Niña fuertes/suaves
Tabla 4 – Estadísticas de rendimientos de la caña de azúcar
Tabla 5 – Estadísticas de rendimientos de la remolacha azucarera
Tabla 6 – Resumen de estadísticas para regiones productoras de caña/remolacha
Tabla 7 – Modelo 1 Países productores de remolacha
Tabla 8 – Modelo 2 Países productores de caña de secano
Tabla 9 – Modelo 3 Países productores de caña de regadío

Índice de cuadros

Cuadro 1 - Modelos de Circulación General (MCG)
Cuadro 2 - Impacto regional del cambio climático sobre la agricultura
Cuadro 3 - El fenómeno de La Niña de 2010/11
Cuadro 4 - El Protocolo de Kioto de la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y el sistema de intercambio de emisiones de la UE

Índice de figuras

Fig 1 – Emisiones globales de gases
Fig 2 – Ilustración de escenarios de calentamiento global
Fig 3 – Proyecciones multi-modelo de cambios de las precipitaciones hasta 2090-99 (junio a agosto, escenario A1B)
Fig 4 – Temperatura de la superficie marina, 1990 -2013
Fig 5 – Brasil, Ribeirão Preto, Precipitaciones y temperaturas, 1961 -2009
Fig 6 – Australia, Ingham, Precipitaciones y temperaturas, 1961 -2009
Fig 7 – Reino Unido, Thetford, Precipitaciones y temperaturas, 1961 -2009

Glosario de términos y acrónimos

CO_2	Dióxido de carbono
CH_4	Metano
N_2O	Óxido nitroso
Ppm	Partes Por Millón
° C	Grados Centígrados
Mm	Milímetros
T/ha	Toneladas por hectárea
EL/LA	El Niño/La Niña
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio

CHP	Sistemas combinados de calor y electricidad
CRU TS 3.10	Datos sobre clima facilitados por la unidad de investigación climática de la Universidad de East Anglia, Reino Unido
ENSO	El Niño/La Niña–Oscilación del Sur
EU ETS	Sistema de comercio de emisiones de la UE
MCG	Modelo de Circulación General
PIB	Producto Interior Bruto
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GM	Genéticamente Modificado
MIROC	Modelo para la investigación interdisciplinar sobre el clima
PDSI	Índice de Severidad de Sequía de Palmer
SFM	Masa fresca del tallo
SOI	Índice de Oscilación del Sur
SRES	Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones
SRI	Inversión Socialmente Responsable

ACP	África, Caribe y Pacífico
CCCEP	Centre for Climate Change Economics and Policy
CCSR	Centre for Climate System Research
CIBE-CEFS	Confederación Internacional de Productores Europeos de Remolacha - Comité Européen des Fabricants de Sucre
CRC-SIIB	Cooperative Research Centre for Sugar Industry Innovation through Biotechnology
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
CTC	Centro Tecnológico Canavieira
FAO	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IAC	Instituto Agrónomo de Campinas
IFPRI	Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ITB	Instituto Técnico de la Remolacha (Francia)
JIRCAS	Centro internacional de investigaciones para las ciencias agrícolas de Japón
NASA	Agencia Aeroespacial de EEUU
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (EEUU)
SRA	Sugar Research Australia
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UNICA	Asociación de la industria de la caña de azúcar brasileña
OMM	Organización Meteorológica Mundial

Introducción

Éste es el primer estudio de la OIA que investiga la relación entre el cambio climático y la agricultura, poniendo énfasis especial en los cultivos azucareros. Existe la percepción de que el calentamiento global podría aumentar la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos tales como inundaciones y sequías afectando negativamente a la productividad agraria general, incluyendo a la producción de caña de azúcar y de remolacha azucarera. Fenómenos meteorológicos severos como los de El Niño/La Niña han dañado hace poco las cosechas de grandes productores mundiales de azúcar, obligando a estos países a dedicar más atención al problema del cambio climático.

La investigación sobre cambio climático recibió un fuerte impulso con la creación hace 25 años del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), que abrió el camino a acuerdos internacionales tales como el Protocolo de Kioto. En pocas palabras, la investigación sobre cambio climático trata de discernir en qué medida un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) contribuye a cambiar los patrones de temperaturas y de precipitaciones. Aunque la mayoría de expertos admiten que el cambio climático provocará aumentos de temperatura en la mayoría de las regiones, el consenso es menos unánime cuando se trata de describir los patrones futuros de precipitaciones en cada región. Algunos sostienen que la contribución positiva de la subida de temperaturas y de una mayor concentración de CO_2 a los rendimientos agrarios podría incluso contrarrestar los daños potenciales provocados por la bajada prevista de precipitaciones en algunas regiones. Sin embargo, un posible efecto negativo del cambio climático es la creciente intensidad de sucesos meteorológicos extremos tales como las sequías y las lluvias desmedidas (ciclones) causadas por fenómenos como El Niño/La Niña, que han afectado desproporcionadamente a los productores de caña. Por otra parte, hay evidencias de que el aumento de temperaturas y de precipitaciones en latitudes más altas ha contribuido a aumentar considerablemente los rendimientos remolacheros en los últimos años. ¿Cuál es la situación para los productores de caña?

Este estudio tiene tres objetivos principales: a) revisar la literatura existente sobre cambio climático, agricultura y cultivos azucareros; b) examinar la relación entre cambio climático o, más específicamente, los cambios a largo plazo en las precipitaciones y temperaturas, y los rendimientos remolacheros/cañeros, analizando casi 8.000 observaciones sobre clima y rendimientos agrarios de 53 regiones productoras de caña y de remolacha representativas de todo el mundo entre 1961 y 2009; c) resumir las principales estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático con las que cuentan los productores de cultivos azucareros.

La primera parte del estudio explica los criterios adoptados por los científicos a la hora de valorar el cambio climático, incluyendo seis escenarios básicos desarrollados por el IPCC, el referente actual para modelos de investigación sobre cambio climático. También resume los vínculos entre las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios de temperaturas y de precipitaciones, incidiendo en los lugares donde se espera que el cambio climático afecte más profundamente a la agricultura, incluyendo los efectos de El Niño/La Niña. La segunda parte del estudio valora el cambio climático en el contexto de los cultivos azucareros, destacando los principales patrones de los cambios en los rendimientos remolacheros/cañeros en relación a los cambios de temperaturas y de precipitaciones, formando relaciones a través de un modelo econométrico siempre que sea posible. La tercera parte del estudio examina el modo en el que los productores de remolacha y de caña se están adaptando e intentando mitigar los efectos del cambio climático, especialmente después de los más recientes fenómenos meteorológicos extremos como el de La Niña en 2010/11. La última parte presenta las conclusiones y las perspectivas para los cultivos azucareros.

Sección 1: Cambio climático y agricultura

El IPCC: El referente institucional sobre cambio climático

La primera gran concertación internacional para institucionalizar el estudio del impacto socioeconómico del cambio climático fue la creación del IPCC en 1988. El organismo fue creado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para ofrecer al mundo una opinión científica coherente sobre cambio climático y sus potenciales efectos socioeconómicos y medioambientales. Desde entonces, miles de científicos de todo el mundo han contribuido al trabajo del IPCC. El trabajo lo coordina la Secretaría, que se encuentra en la sede de la OMM en Ginebra.[1] El IPCC define el cambio climático como un cambio en el estado del clima que resulta de la actividad antropogénica (humana) y de la variabilidad natural, que puede identificarse (por ejemplo, empleando pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, normalmente décadas o más tiempo.[2] Hasta la fecha el trabajo del IPCC sobre cambio climático ha sido resumido en cuatro informes exhaustivos conocidos como los Informes de Evaluación, el primero de ellos publicado en 1990 y el último en 2007. El próximo informe del IPCC (su quinto Informe de Evaluación) está previsto

[1] IPCC (2007), *Synthesis Report*, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/mains1.html; IPCC: http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml#.UWVHUpPs9qg
[2] IPCC (2007), *Synthesis Report*, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf

para finales de 2013 o principios de 2014. Hay que destacar que los 6 escenarios sobre cambio climático del IPPC han fijado la referencia en torno a la cual trabajan la mayoría de centros de investigación sobre cambio climático en la actualidad.

El primer Informe de Evaluación del IPCC (1990) abría la puerta a la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el principal tratado internacional que proporciona objetivos específicos a cada país para la adaptación y la mitigación del cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (véase la sección 3). Cabe destacar que la CMNUCC solamente se centra en los aspectos antropogénicos del cambio climático.

Emisiones de gases de efecto invernadero y cambio climático

El clima se define como los patrones meteorológicos que una región exhibe de media a lo largo de 30 años. [3] Tradicionalmente, el cambio climático se ha valorado por los cambios en los patrones de tres variables principales: la concentración de GEI (gases de efecto invernadero), la modificación de los patrones pluviales y los cambios en los rangos de temperatura. Por resumir, la opinión generalizada es que el cambio climático es función del incremento de las concentraciones de **GEI**, lo cual a su vez provoca cambios en los patrones de **precipitaciones** y **temperaturas**.

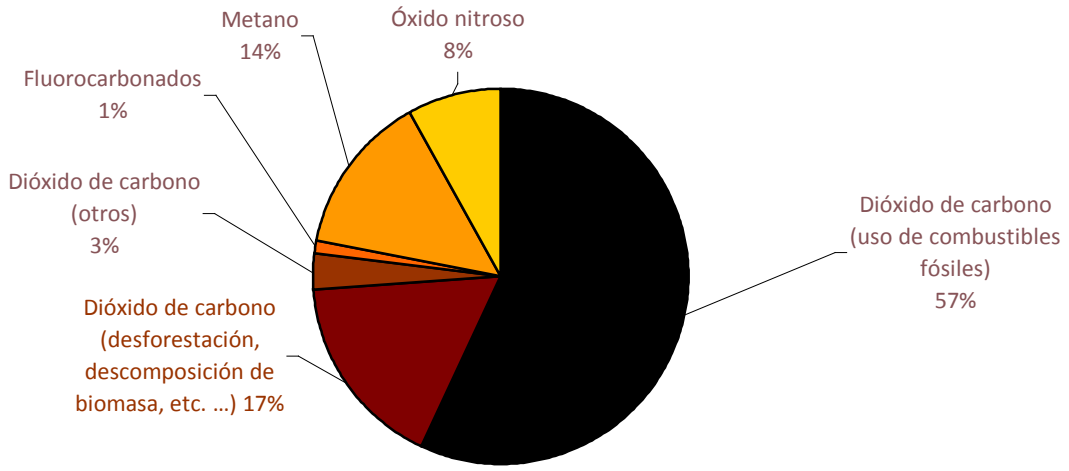
El rápido incremento de la temperatura global media durante el siglo XX ha movido a los investigadores a profundizar sus estudios sobre los vínculos entre las emisiones de GEI y el cambio climático. [4] Las tres principales reconstrucciones de la temperatura de la superficie global a partir de datos instrumentales (NOAA y NASA en EEUU y la Universidad de East Anglia en el Reino Unido) muestran evidencias de calentamiento global desde 1880.[5] El efecto invernadero está provocado por la capa de gases atmosféricos que absorben y reemiten radiación infrarroja desde la superficie de la tierra.[6]

Según el IPCC, el **CO_2 (dióxido de carbono)** es el principal gas antropogénico de efecto invernadero. El CO_2 representaba en el año 2004 el 77% de las emisiones totales de GEI antropogénicos. El metano **(CH_4),** el **óxido nitroso (N_2O)** y los

[3] Organización Meteorológica Mundial: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_data_and_products.php
[4] National Oceanic and Atmospheric Administration: http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/service/global/global-land-ocean-mntp-anom/201101-201112.png
[5] NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
NASA: Agencia Aeroespacial de EEUU
[6] National Oceanic and Atmospheric Administration: http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/index.html;
Climate Research Unit (Universidad de East Anglia UK): http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature;http://data.giss.nasa.gov/gistemp

gases fluorocarbonados sumaban el resto con el 14%, 8% y 1%, respectivamente (véase la figura 1). Entre 1970 y 2004 las emisiones de CO_2 han crecido en torno al 80% anual desde las 21 a las 38 gigatoneladas (Gt). Tres cuartas partes de las emisiones de CO_2 provienen del consumo de combustibles fósiles, mientras que la deforestación y la descomposición de biomasa suman la mayor parte del balance restante.[7] El IPCC señala que la mayor parte del incremento observado en la temperatura media global desde mediados del siglo XX se debe con una muy alta probabilidad al aumento observado de las concentraciones de GEI antropogénicos. El vínculo entre las emisiones del GEI antropogénicos y el cambio climático ha sido estimado cuantitativamente mediante el cálculo del forzante radiativo (W/m^2), que en 2005 era de +1,66 W/m^2 para el CO_2, +0,48 W/m^2 para el CH_4, +0,16 W/m^2 para el N_2O y +0,34 W/m^2 para los halocarburos con respecto a la era preindustrial.[8] Cabe destacar que estos valores se han asociado a patrones de calentamiento observados en la mayoría de regiones y a patrones de cambios de precipitaciones, así como al posible aumento en la frecuencia de sequías, por una parte, o lluvias torrenciales por otra.[9]

Fig 1 Emisiones globales de gases



Fuente: IPCC (2007)[10]

El cálculo más reciente del IPCC sitúa la concentración atmosférica de CO_2 en 379 ppm (partes por millón) en 2005, cuando el valor preindustrial era de unas 280 ppm. Subraya la importancia de frenar las emisiones de CO_2, no sólo porque representan la inmensa mayoría de las emisiones de GEI, sino también porque son

[7] IPCC (2007): http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf
[8] IPCC (2007) 4AR Report: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf page:39
[9] The Council on Food, Agricultural and Resource Economics: http://www.cfare.org/media_events/climate/files/climate_change_summary.pdf
[10] IPCC 2007: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html

el único GEI cuyos índices de crecimiento de concentración global atmosférica han continuado aumentando en los últimos años. En el caso del CH_4, situado en segundo lugar en cuanto a emisiones antropogénicas de GEI, los índices de crecimiento de concentración atmosférica han descendido desde los años 90.

Las emisiones de CO_2 han seguido aumentando con fuerza en los últimos años. Los niveles de dióxido de carbono cuantificados en el observatorio de Mauna Loa (Hawai) subieron en 2012 en 2,67 ppm hasta las 395 ppm, según datos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). El registro anual marcó un incremento de 2,94 ppm en 1998. Según este observatorio, la tasa media anual de incremento durante los últimos 10 años ha sido de 2,07 ppm, más del doble que el incremento registrado en los años 60. El incremento medio de los niveles de CO_2 entre 1959 y la actualidad ha sido de 1,49 ppm al año.[11]

Futuros escenarios de cambio climático

El IPCC presenta **seis escenarios** futuros de emisiones de GEI (CO_2, CH_4, N_2O y gases fluorocarbonados) según diferentes supuestos de desarrollo socioeconómico (crecimiento de población y de la renta) y del nivel de utilización de combustibles fósiles. Estos escenarios han sido protagonistas de sus dos últimos informes de evaluación. Se les conoce como escenarios IEEE (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones). Estos escenarios son importantes ya que sirven como referente para proyectar futuros cambios de temperaturas y de precipitaciones en base a múltiples modelos: los **modelos de circulación general (MCG)**, desarrollados en todo el mundo por toda una multitud de científicos que utilizan diferentes especificaciones y observaciones. En resumen, para el año 2030 las emisiones de CO_2 aumentan en los seis escenarios (en diversos grados), aunque a muy largo plazo (2100) las emisiones de CO_2 tal vez podrían descender en los dos escenarios más optimistas (A1T y B1). Los escenarios IEEE cubren un amplio número de los factores generadores de futuras emisiones, desde indicadores demográficos hasta niveles de desarrollo tecnológico y económico. Los seis escenarios analizados en el último **informe del IPCC (2007)** pueden resumirse del modo siguiente:

1. **A1FI:** Crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes, **pero sigue siendo intensiva en combustibles fósiles**.
2. **A1T**: Crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes, **pero se usan energías de origen no fósil**.
3. **A1B:** Crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas

[11] IOP Publishing: http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/52692

y más eficientes **con equilibrio entre las distintas fuentes**. Éste es el escenario preferido por muchos investigadores ya que toma en cuenta el importante desarrollo de la producción y uso de biocombustibles.

4. **B1:** Describe un mundo convergente, con la misma población mundial que alcanza su máximo a mediados de siglo y posteriormente va descendiendo, como en el escenario A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información con reducciones de intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y eficientes con los recursos.

5. **B2:** Describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

6. **A2**: Describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

Cada uno de estos escenarios ha dado lugar a una línea de tendencia singular (proyección) para las emisiones de GEI: seis proyecciones que representan a seis trayectorias teóricas de cambio climático determinadas. Cada uno de estos seis escenarios da margen a diferentes previsiones de cambios futuros en temperaturas y precipitaciones.

Cabe destacar que los modelos desarrollados por centros de todo el mundo especializados en investigación sobre cambio climático que han contribuido a los escenarios del IPCC se denominan modelos de circulación general (cuadro 1).

Los MCG deben ser capaces de manejar fluctuaciones a corto plazo tales como las asociadas con ENSO (El Niño/La Niña–Oscilación del Sur) (véase más adelante). Aunque examinar todos los MCG existentes queda fuera del ámbito de este estudio, dos son especialmente interesantes para la agricultura: 1) el **modelo MIROC** (Modelo de Investigación Interdisciplinaria sobre el Clima) del Centre for Climate System Research (CCSR) de la Universidad de Tokio; 2) el **modelo CSIRO**

Cuadro 1 Modelos de Circulación General (MCG)

Los modelos numéricos (Modelos de Circulación General o MCG), que representan a procesos físicos en la atmósfera, océanos, criosfera y superficie terrestre son las herramientas más avanzadas de que disponemos en la actualidad para simular la respuesta del sistema climático global al incremento de las concentraciones de GEI (gases de efecto invernadero). Aunque también se han utilizado modelos más simples para ofrecer estimaciones de respuesta climática ponderadas a nivel global o regional, solamente los MCG, posiblemente en combinación con modelos regionales anidados, tienen potencial para proporcionar estimaciones consistentes a nivel geográfico y físico del cambio climático regional para analizar sus impactos, cumpliendo los cinco criterios que el IPCC exige a los modelos sobre cambio climático. Por resumir, éstos tienen que ver con la consistencia, plausibilidad física y aplicabilidad de la evaluación de impacto, representatividad y accesibilidad del modelo. Para más información sobre cada uno de los criterios, véase: http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html

de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation de Australia.[12] Estos dos MCG han sido ejecutados en los seis escenarios desarrollados por el IPCC, produciendo diferentes predicciones de cambios de precipitaciones y temperaturas tanto a nivel mundial como a nivel regional. Por ejemplo, mientras que los resultados del modelo CSIRO arrojan unos incrementos bastante modestos de temperaturas y precipitaciones mundiales en el futuro, los resultados del modelo MIROC arrojan aumentos más grandes de la temperatura prevista y unas precipitaciones mucho más bajas. La tabla 1 resume las previsiones de los cambios de temperatura globales según los seis escenarios publicados por el informe de evaluación (2007) del IPCC, que representan un resumen de los resultados de los MCG.

En su cuarto informe de evaluación el IPCC presentaba la siguiente serie de previsiones de cambios previstos de **temperatura**:

Tabla 1 Valores previstos de subidas globales de temperatura del IPCC

	Cambio de temperatura (en °C en 2090-2099 con relación a 1980-1999)	
Caso	**Mejor estimación**	**Rango probable**
Escenario B1	1,8	1,1-2,9
Escenario A1T	2,4	1,4-3,8
Escenario B2	2,4	1,4-3,8
Escenario A1B	2,8	1,7-4,4
Escenario A2	3,4	2,0-5,4
Escenario A1FI	4,0	2,4-6,4

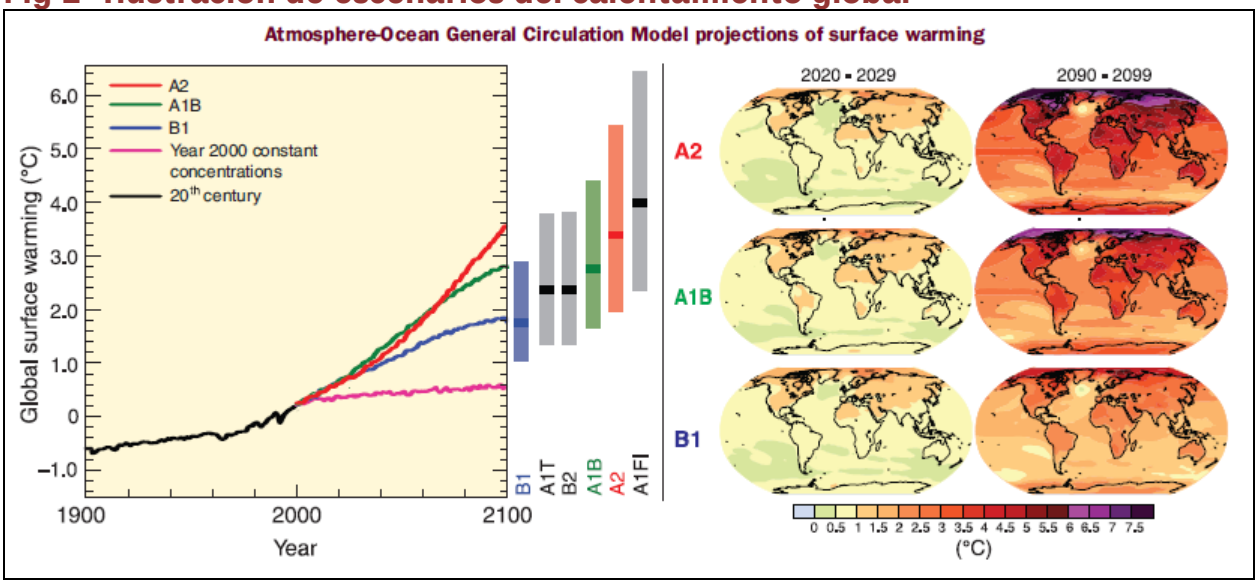
Fuente: IPCC (2007), *Informe*, tabla 3.1, p.45.

Aunque a nivel global se han ofrecido rangos de previsión de temperaturas precisos, el IPCC es menos claro al pronosticar los cambios regionales. Sin embargo, el IPCC respalda la opinión de que el calentamiento global será mayor en las latitudes más septentrionales y menor en los océanos meridionales (cerca de la Antártida)[13]. En la figura 2 se ofrece una ilustración que muestra la temperatura regional prevista de acuerdo con 3 de los escenarios del IPCC: el A2, el A1B y el B1.

[12] Model Information of Potential Use to the IPCC Lead Authors and the AR4. (2005): http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/MIROC3.2_medres.htm

[13] Gornall et al. (2010), Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century, http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/food-and-farming/drivers/dr2-implications-climate-change-for-agricultural-productivity.pdf, p.:2980

Fig 2 Ilustración de escenarios del calentamiento global



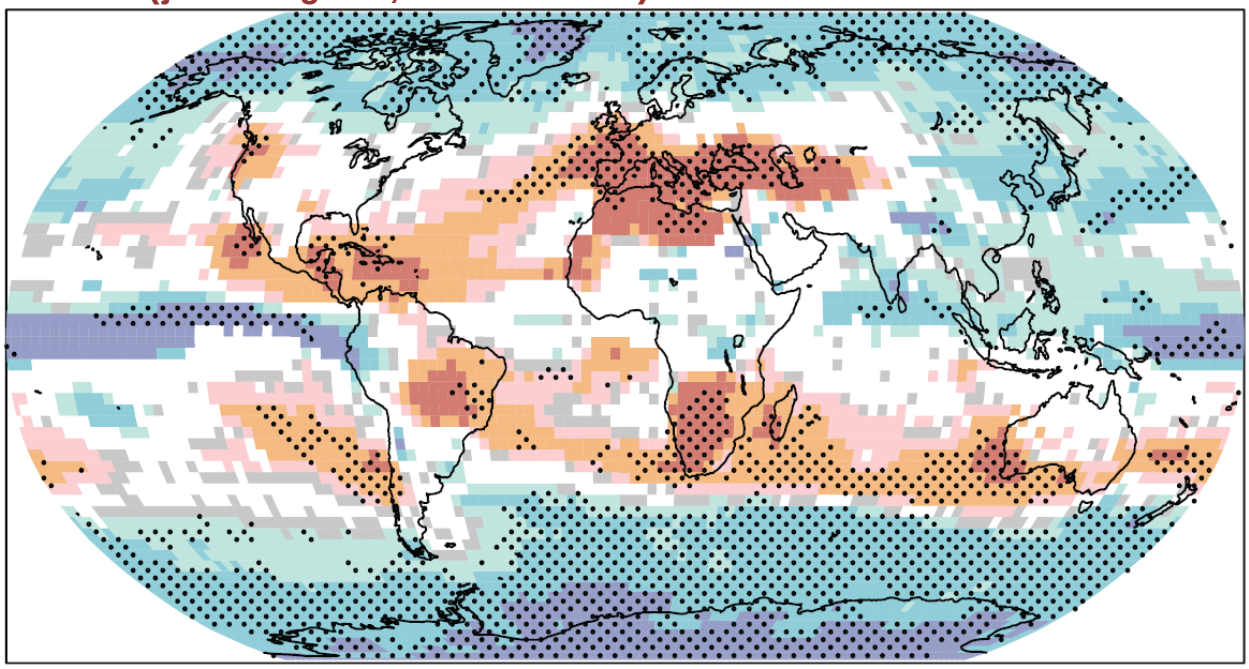
Fuente: IPCC (2007), *Synthesis Report*, p.46

Cuando se trata de cambios en **precipitaciones** las proyecciones regionales del IPCC son también fluidas. Probablemente algunas partes del globo se volverían más áridas mientras que otras recibirían más lluvias. El IPCC concluye que los "futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) se volverán más intensos, con mayores velocidades punta de los vientos y con precipitaciones más fuertes asociadas al constante aumento de la temperatura de la superficie de los mares tropicales".[14] Además, los aumentos en la cantidad de precipitaciones se describen como muy probables en altas latitudes mientras que en las regiones continentales subtropicales se producirían descensos. Esto es coherente con la observación histórica de un incremento del 10-40% en las precipitaciones del **norte de Europa** durante el pasado siglo, mientras que en el **sur de Europa** las precipitaciones descendieron en un 20%. Algunos modelos sugieren que el calentamiento global podría dar lugar a una mayor sequía en zonas subtropicales como el suroeste de Norteamérica, el sur de Europa, el norte de África y Oriente Medio, así como partes de Sudamérica. Es probable que se dé un aumento de la frecuencia de las sequías en el **sur de África** y en la **cuenca mediterránea**. En lo que respecta a otras regiones no hay mucho consenso. Las proyecciones regionales sobre cambios en las precipitaciones divergen considerablemente en el caso del **África ecuatorial**. Por ejemplo, escenarios de precipitaciones veraniegas en la región del Sahel (que cubre partes de Senegal, sur de Mauritania, Mali central, sur de Argelia y Níger, centro de Chad, sur de Sudán, norte de Sudán del Sur y Eritrea) arrojan una variación del ±20% para 9 MCG atmosférico-oceánicos. En muchos modelos se prevé un aumento de las precipitaciones en los altiplanos de **África oriental**, y **África central ecuatorial**. En el escenario A1B del IPCC, el modelo MIROC 3.2 (hires) prevé que las precipitaciones descenderán en **Brasil**

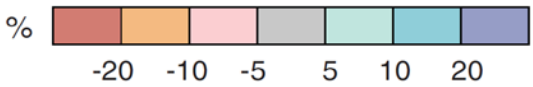
[14] IPPC (2007), *Synthesis Report*, p.46.

cerca de un 6% mientras que otros MCG ven un incremento de las precipitaciones en la mayor parte del Centro-Sur de Brasil. Es probable que **China** no se vea muy afectada por cambios en las precipitaciones. Las previsiones para la **India** son inciertas.[15] Las diferencias en las proyecciones de precipitaciones surgen por varias razones. Por ejemplo, la incertidumbre sobre los cambios en las precipitaciones en la India surge parcialmente por las inciertas ponderaciones atribuidas por una parte al debilitamiento previsto de la circulación dinámica del monzón (reduciendo las lluvias monzónicas en la India) y por otra al incremento del contenido de agua en la atmósfera asociado con el calentamiento.[16] A modo de resumen, la figura 3 muestra una representación ilustrativa de las proyecciones multi-modelo para los cambios de precipitaciones por regiones según el escenario A1B para el periodo junio-agosto, según datos extraídos directamente del informe del IPCC (2007).

Fig 3 Proyecciones multi-modelo de cambios de las precipitaciones hasta 2090-99 (junio a agosto, escenario A1B)



Fuente: IPCC (2007), *Synthesis Report*, p.46[17]



[15] Christensen J H et al 2007, Regional climate projections Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribución del grupo de trabajo I al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
[16] IPPC (2007): http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10.html
[17] Cambios relativos de precipitaciones (porcentaje) basados en el escenario SRES A1B para junio-agosto, periodo 2090-2099, en relación con 1980-1999. Las zonas punteadas son donde más del 90% de los modelos concuerdan en el signo del cambio.

Finalmente los cambios en precipitaciones y temperaturas podrían dar lugar a cambios en caudales y disponibilidad de agua. El IPCC prevé que los caudales aumenten entre el 10% y el 40% para mediados de siglo en África oriental y en zonas tropicales lluviosas, tales como el este y el sudeste de Asia. Por contra, se prevé que los caudales desciendan entre el 10% y el 30% en algunas regiones secas de mediana latitud tales como África meridional, la cuenca mediterránea y el oeste de Estados Unidos.

Projección del impacto del cambio climático sobre los cultivos agrícolas

Utilizando los resultados de temperaturas y precipitaciones proporcionados por los MCG, los centros de investigaciones agrícolas han cuantificado el impacto del cambio climático sobre la productividad de cultivos agrícolas. Uno de los principales centros de investigación en este campo es el IFPRI (International Food Policy Research Institute). En 2010 el **IFPRI** publicó el informe 'Food Security, Farming and Climate Change to 2050'. [18] El informe utiliza resultados de modelos MCG que introduce en su modelo de equilibrio parcial IMPACT para obtener una serie de escenarios sobre los precios de los productos agrícolas en el año 2050. El modelo concluye que aunque el cambio climático probablemente reduzca los rendimientos agrarios en diversos grados dependiendo del escenario (CSIRO A1B, CSIRO B1, MIROC A1B, MIROC B1), en la mayoría de regiones no revertirá la tendencia de productividad creciente en todos los productos. Los resultados del modelo también muestran que con relación a 2010 el precio de tres productos agrícolas (maíz, arroz y trigo) subirá en varios grados en todos los escenarios simulados de cambio climático, oscilando desde el 30% al 100%. La subida de precios viene dada principalmente por la presión constante del crecimiento de la renta y de la población, así como por el descenso de superficies cultivadas en algunos grandes productores. En especial, los países desarrollados reducirán sus superficies cultivadas del 9 al 13%.[19]

De forma similar, tras una serie de proyecciones sobre cambios de temperaturas y de precipitaciones adoptadas a partir de diferentes resultados de MCG, el informe del IPCC de 2007 estima que la productividad agraria aumentará ligeramente a latitudes medias y altas debido al efecto combinado del aumento de temperatura y del aumento de precipitaciones. A latitudes más bajas con climas más secos la productividad puede descender.

Entretanto, muchos científicos que han cuantificado el impacto del cambio climático sobre la agricultura durante los últimos años convienen en general en los siguientes puntos: i) Unos suaves niveles de calentamiento en latitudes más altas (EEUU, Europa, Australia, Siberia y algunas partes de China) podrían mejorar las

[18] IFPRI, "Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options", Gerald C. Nelson (et al), 2010.
[19] IFPRI, ibidem, p.24-25 and p.31

condiciones para el desarrollo de cultivos al prolongar la temporada de crecimiento y/o abrir nuevas zonas para la agricultura. Un calentamiento mayor podría tener efectos negativos en regiones tales como el sur de Europa y el oeste de Estados Unidos; ii). Un aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera podría potenciar los beneficios iniciales del calentamiento debido al efecto de "fertilización del carbono" que contrarrestaría los daños provocados por el calor y la falta de agua. Mayores concentraciones de CO_2 aumentan el índice de fotosíntesis y eficiencia hídrica (la eficiencia con la cual las plantas utilizan agua para producir una unidad de biomasa). Sin embargo, los efectos directos son mayores para plantas C_3 como el trigo que para plantas C_4 como el maíz, el sorgo, el mijo y la caña de azúcar. [20] Las investigaciones demostraron en el año 2007 que si la concentración de CO_2 sube desde 380 hasta 550 ppm, probablemente se producirá un incremento de rendimientos del 10-20% en plantas C_3 (trigo, arroz), frente a una subida del 10% para cultivos C_4 (caña de azúcar, maíz, soja)[21]; iii) Es más, muchos de los efectos del cambio climático sobre la agricultura dependerán además del grado de adaptación, que a su vez estará determinado por los niveles de renta, estructura de mercado y tipo de cultivo, bien sea de secano o de regadío; iv) Estudios que asumen que una cantidad sustancial de tierra a latitudes más altas se volverá apta para la producción encuentran más efectos positivos del cambio climático sobre los rendimientos.[22]

Los fenómenos meteorológicos extremos también están en el radar de la investigación agrícola sobre cambio climático: sequías y fuertes precipitaciones/ciclones. Las investigaciones han demostrado que a nivel global las superficies cultivadas con productos como la cebada, el maíz, el arroz, el sorgo, la soja y el trigo han experimentado desde los años 60 un aumento del porcentaje de superficie afectada por la sequía, según la definición del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), desde el 5–10% hasta el 15–25% aproximadamente.[23]

---

[20] Plantas C3 (compuesto de 3 carbonos): componen más del 95% de las especies de la tierra, las plantas progresan en climas frescos, húmedos y nubosos donde los niveles de luminosidad pueden ser bajos porque la vía metabólica necesita menos recursos energéticos. Plantas C4 (compuesto de 4 carbonos): suman menos del 1% de las especies de la tierra. Habitan entornos calurosos y secos donde la eficiencia metabólica e hídrica son muy elevadas, pudiendo haber hasta el doble de fotosíntesis por gramo de agua que en las plantas C3.

[21] Tubiello, F.N., J.S. Amthor, K.J. Boote, M. Donatelli, W. Easterling, G. Fischer, R.M. Gifford, M. Howden, J. Reilly, and C. Rosenzweig, 2007: Crop response to elevated CO2 and world food supply: Comentario sobre "Food for Thought." por Long et al*., Science* 312:1918-1921, 2006. *Euro. J. Agron.*, 26, 215-223, doi:10.1016/j.eja.2006.10.002.

[22] Algunas de estas cuestiones se analizan en detalle en un informe de 700 páginas publicado por el gobierno británico el 30 de octubre de 2006 elaborado por el economista Nicholas Stern, presidente del Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment de la London School of Economics y también presidente del Centre for Climate Change Economics and Policy (CCCEP) de la Universidad de Leeds y la LSE. Puede verse un resumen en http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive_Su mmary.pdf

[23] Li Y. P et al Yan X. D. (2009), "Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts", *Climate Research,* 39, pp.31–46.

Cuadro 2 – Impacto regional del cambio climático sobre la agricultura

Encontrar criterios coincidentes sobre los escenarios de cambio climático para la agricultura es una ardua tarea, y a menudo controvertida. Sin embargo, este cuadro ofrece unos pocos ejemplos de algunos de los descubrimientos más recientes sobre la cuestión del cambio climático y los rendimientos agrícolas para tres regiones clave: Brasil, China y África. Los ejemplos sólo son ilustrativos, no exhaustivos. Mientras que Brasil es uno de los exportadores de productos básicos de más rápido crecimiento, China es un actor emergente en el lado de la demanda de importación. Comprender el impacto del cambio climático sobre la agricultura africana también resulta de especial interés dado el potencial de la región como potencia agrícola.

En general, hay señales de que el noreste de **Brasil** será la zona del país que más sufrirá la sequía mientras que las partes del sur del país podrían tener un aumento de las precipitaciones. Un modelo del año 2008 desarrollado por CPTE/INPE en Brasil utilizando el modelo PRECIS, y asumiendo el escenario A2 del IPCC, mostraba que para el año 2050 el cambio climático aumentaría la superficie del país idónea para el cultivo de caña de azúcar en un 160% reduciendo al mismo tiempo la superficie idónea para la soja (en un 34%) y para el café arábica (en un 17%). También apunta a una mayor migración de la producción de caña a los estados del sur de Brasil.

En **China** hace poco se ha previsto (utilizando una combinación de los MCG CSIRO y MIROC) que para 2050 los rendimientos aumentarán en un 17, 45 y 15% respectivamente para el trigo, maíz y arroz. Según estos resultados es improbable que el país sufra pérdidas por culpa del cambio climático e incluso podría convertirse en exportador neto de arroz aunque seguiría siendo un gran importador de maíz.

El continente **africano** tiene varios climas diferenciados. Los principales son el tropical lluvioso, el tropical seco y la alternancia de climas húmedos y secos. Muchos países del continente son proclives a sufrir sequías recurrentes; algunos episodios de sequía, especialmente en el África meridional, están asociados con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Son particularmente vulnerables las subregiones áridas y semiáridas, así como los pastizales de África meridional y las zonas que actualmente están amenazadas por la desertificación y la degradación de la tierra. El impacto del cambio climático en la agricultura del África subsahariana es especialmente importante debido al hecho de que contribuye con el 20-30% del producto interior bruto (PIB) de la zona y con más del 50% de los ingresos por exportaciones. Algunas estimaciones señalan que para 2080 la superficie árida y semiárida de África habrá aumentado en total entre el 5 y el 8%. Una de las posibles consecuencias de esta situación es el potencial descenso del 20% en los rendimientos del maíz. Aún así los rendimientos actuales entre los pequeños productores sólo son la mitad (o incluso la décima parte) de los rendimientos que podrían conseguirse, lo cual significa que un avance en productividad podría mitigar los efectos adversos del cambio climático.

Fuente: Brasil[24]; China[25]; África[26]

A la hora de discernir el impacto de los ciclones tropicales sobre la productividad agrícola las evidencias actuales todavía son inconcluyentes. Aunque muchas observaciones se centran en los efectos negativos, los ciclones tropicales también pueden traer consigo beneficios. En muchas regiones áridas de los trópicos, una gran proporción de las lluvias anuales proviene de los ciclones. Se estima que los ciclones

[24] Goiânia (2009), Mudanças climáticas globais e seus possíveis impactos na agricultura brasileira, Forum de Geoinformação, http://www.sieg.go.gov.br/downloads/mudanca_clima.pdf
[25] Ye et al. (2013), Chinese Food Security and Climate Change: Agriculture Futures, *Economics, The Open-Access,* No. 2013-2
[26] IPCC (2007), *Synthesis Report*, www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms3.html

tropicales contribuyen con el 15–20% de las precipitaciones anuales del Sur de Florida, que pueden poner fin a severas sequías regionales. Ejemplos de tormentas de este tipo son el huracán Gabrielle de 2001 y la tormenta tropical Fay de 2008, que aliviaron las sequías 2000–2001 y 2006–2009, respectivamente.[27] Los estudios de modelación del clima que contribuyen al cuarto Informe de Evaluación del IPCC sugieren que los ciclones tropicales podrían volverse más intensos en el futuro con vientos más fuertes y mayores precipitaciones, aunque su frecuencia podría no verse alterada necesariamente.

Fenómenos meteorológicos extremos: el ejemplo de El Niño y La Niña

Como ya hemos comentado, una de las evidencias del cambio climático es la creciente intensidad de fenómenos extremos tales como sequías y lluvias torrenciales. Algunos de los patrones más documentados sobre sequías y precipitaciones extremas aparecen con el fenómeno El Niño/La Niña–Oscilación del Sur. Una línea emergente en la literatura sugiere que el cambio climático podría también generar fenómenos El Niño/La Niña más frecuentes.[28] Los fenómenos El Niño/La Niña se caracterizan por marcar unos patrones de sequías y precipitaciones extremas que afectan, según las estimaciones, a un número desproporcionado de productores de caña de azúcar, especialmente Australia, África meridional y la parte septentrional de Sudamérica, así como a Centroamérica. Un estudio reciente ha puesto de manifiesto que el fenómeno de El Niño puede estar asociado a una pérdida del PIB (Producto Interior Bruto) en Sudáfrica y Australia.[29] El Niño se caracteriza por un aumento de la temperatura de la superficie marítima por encima de la media en el Océano Pacífico oriental o central, algo que también se conoce como Episodio Cálido del Pacífico. El Niño/La Niña también se caracteriza por una presión atmosférica mayor/menor de la normal sobre Indonesia/ Australia y regiones adyacentes de la región del Pacífico occidental. Esta diferencia de presión se cuantifica mediante el Índice de la Oscilación del Sur (IOS), desarrollado en los años 50. El IOS es la diferencia de presión normalizada a nivel del mar entre Tahití, la Polinesia francesa y Darwin, Australia. Durante El Niño, el IOS tiene valor negativo debido a que la presión en la superficie marina es menor de la normal en Tahití y mayor de la normal en Darwin. Unos valores sostenidos por debajo de -8 indican que se trata del fenómeno **El**

[27] Gornall et al. (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century, http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/food-and-farming/drivers/dr2-implications-climate-change-for-agricultural-productivity.pdf, p.:2980

[28] Investigaciones recientes han concluido que la amplitud de la variabilidad ENSO en los datos observados ha aumentado hasta en un 60% en los últimos 50 años. Véase Zhang et al, 2008, "ENSO amplitude change in observation and coupled models" in *Advances in Atmospheric Sciences*, Mayo de 2008, Volume 25, Issue 3, pp 361-366; http://www.pnas.org/content/early/2013/03/15/1219405110.full.pdf

[29] Laosuthe & Selover 2007 "Does El Niño affect Business Cycles" Eastern Economic Journal , Vol 33, No 1, Winter 2007, http://college.holycross.edu/eej/Volume33/V33N1P21_42.pdf

Niño mientras que unos valores sostenidos por encima de 8 caracterizan al fenómeno **La Niña**. (Para consultar los datos más recientes sobre el IOS véase la página web especial sobre cambio climático del gobierno de Queensland: http://www.longpaddock.qld.gov.au/). Otra herramienta habitual para cuantificar fenómenos El Niño es el índice NINO3.4. Este índice es la anomalía en la temperatura media de la superficie marina en la región enclavada entre 5° N y 5° S, y 170° O a 120° O. Un fenómeno El Niño o La Niña queda identificado si el promedio trimestral del índice NINO3.4 sobrepasa los +0,5° C para El Niño o los -0,5° C para La Niña durante al menos cinco meses consecutivos.[30] La tabla 2 presenta la serie de índices NINO3.4 (promedios trimestrales) entre 1991 y 2012. La tabla 3 y la figura 4 muestran los años en los que se han detectado fenómenos El Niño/La Niña fuertes y suaves en el periodo entre 1991 y 2012. Véase el cuadro 3 para conocer en más detalle los efectos del último gran fenómeno La Niña sobre cultivos azucareros.

Tabla 2 Cambios al Índice Oceánico el Niño 3.4 (ONI) en º C

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1991	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1	0,7	0,3	0	-0,2	-0,3	-0,2	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1	1,2
1995	1	0,8	0,6	0,3	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,2	0,7	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	2,4	2,3
1998	2,2	1,8	1,4	0,9	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
1999	-1,5	-1,3	-1	-0,9	-0,9	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,5	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,3	1,3
2003	1,1	0,8	0,4	0	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8
2006	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1
2007	0,7	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
2008	-1,5	-1,5	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6
2010	1,6	1,3	1	0,6	0,1	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1
2012	-0,9	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	0	0,1	0,4	0,5	0,6	0,2	-0,3

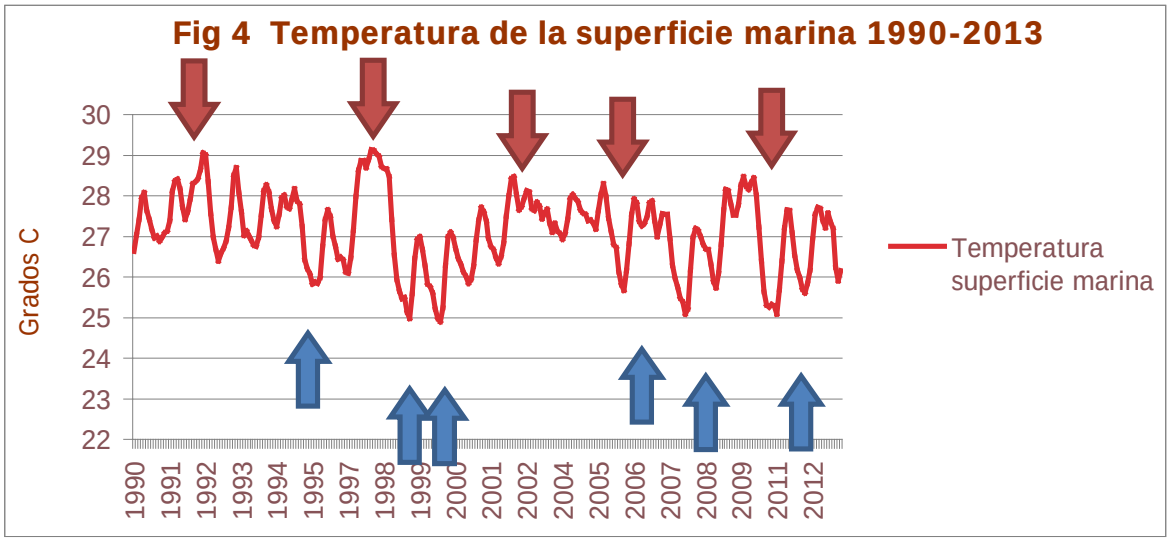
Fuente: NOAA[31]

[30] NOAA: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
[31] NOAA:http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml#history

Tabla 3 Años de fenómenos El Niño/La Niña fuertes/suaves

Fenómenos fuertes:	
El Niño:	91/92, 97/98, 02/03, 09/10
La Niña:	98/99, 99/00, 07/08, 10/11
Fenómenos suaves:	
El Niño:	94/95, 04/05, 06/07
La Niña:	95/96, 00/01, 05/06, 08/09, 11/12
Neutros:	90/91, 92/93, 93/94, 96/97, 01/02, 03/04,

Fuente: NOAA[32]



Fuente: NOAA[33]

[32] **Descripción:** Episodios cálidos (rojo) y fríos (azul) en base a un umbral de al menos 5 meses por encima de +/-0,5°C **DEF** = diciembre, enero, febrero [media trimestral de las anomalías en la región Niño 3.4] **Fenómenos fuertes**: más de +1° C para El Niño y menos de -1° C para la Niña **Fenómenos suaves**: entre +0,5° C y +1° C para El Niño y entre -0,5° C y -1° C para La Niña **Episodios neutros**: cuando no se alcanza el umbral para el mínimo de 5 eventos consecutivos.

[33] NOAA: www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.Niño34.ascii.txt

Cuadro 3 El fenómeno de La Niña de 2010/11

El fenómeno La Niña de 2010/11 fue uno de los más fuertes en una serie que data desde finales del siglo XIX. Se produjeron precipitaciones récord en gran parte de Australia septentrional y oriental que provocaron inundaciones en Queensland y Nueva Gales del Sur en septiembre de 2010 y febrero de 2011. Las superficies con caña de Australia fueron otra vez golpeadas por el ciclón Yasi, el mayor que ha sufrido nunca Australia. Según los productores de azúcar del país por culpa del fenómeno La Niña de 2010/11, en el país se dejaron sin recoger 5,7 millones de toneladas de caña de azúcar en 2011 (el 18% de la cosecha). La región del ingenio de Tully fue la más perjudicada durante el ciclón de categoría 5. El coste para la industria azucarera de Australia, por culpa de los daños a las cosechas, maquinarias e infraestructuras, se estimó en 500 millones de dólares.

De forma similar, en 2010/11 Colombia también sufrió lluvias torrenciales asociadas al fenómeno de La Niña. En 2010 la producción de azúcar de Colombia descendió casi en un 20%. La producción de Guatemala, el cuarto mayor exportador neto de azúcar del mundo, bajó hasta los 2 millones de toneladas, un 13% con respecto al nivel de 2009/10. Descensos de producción similares también se constataron en otros productores de la región como Nicaragua, El Salvador y Honduras. Las extremas condiciones meteorológicas probablemente relacionadas con el fenómeno de La Niña de esa temporada movieron a Guatemala a reforzar su supervisión meteorológica de fenómenos El Niño/La Niña. El país publica ahora un boletín trimestral sobre cambio climático elaborado por el Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (para más información véase la sección 3 sobre mitigación y adaptación).

Sección 2: Impacto del cambio climático sobre cultivos azucareros

Evidencias del impacto del cambio climático sobre cultivos azucareros

La frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos, ya estén relacionados o no con El Niño/La Niña, es un problema contemporáneo de especial importancia para las regiones productoras de caña de azúcar. Este enero Australia registraba su mes más caluroso desde que se registran datos, con temperaturas medias de 31,9° C en el Territorio del Norte y de 30,7° C en Queensland. El país también se vio afectado por lluvias por encima de la media. Gladstone, en Queensland, recibió 820 mm de lluvia en cuatro días, batiendo su récord anterior y superando las precipitaciones anuales registradas en 2011 y 2012.[34] Esta temporada el tiempo en Alagoas, Noreste de Brasil, ha sido uno de los más secos de los que se tiene constancia, con unas precipitaciones en 2012 cerca de un 30% por debajo de los valores normales. Debido a ello los rendimientos se han hundido hasta el nivel más bajo en al menos una década y la producción ha caído con fuerza. En vista de todo esto podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿qué supone la variabilidad climática para los cultivos azucareros?

La tabla 4 ofrece un resumen de las estadísticas sobre **rendimientos cañeros** para las regiones productoras de caña de azúcar más importantes del mundo durante el transcurso de dos períodos: 1991-1999 y 2000-2011. Las cifras muestran que los rendimientos cañeros normalmente aumentaron entre ambos períodos, sólo con unas pocas excepciones. Una de ellas es Australia donde los rendimientos descendieron en un 8% en comparación con los años 90. Otro es África meridional, especialmente Suazilandia y Sudáfrica, donde los rendimientos eran en los años 90 superiores a los de la década inicial del presente siglo. En el caso de Australia, los bajos rendimientos de los últimos años podrían tener relación con los fenómenos meteorológicos extremos. La distribución de datos por cuartiles indica que los rendimientos cañeros de Australia estuvieron en 2010 en el 25% inferior de la distribución de datos de 20 años. En el caso de Sudáfrica es probable que la sequía, más que las altas temperaturas, sea responsable de las pérdidas de productividad agraria (esta cuestión se examina en más detalle en las próximas secciones). También se han dado grandes descensos de rendimientos en algunos productores ACP (África, Caribe y Pacífico) como Guayana y Cuba, aunque es más probable que éstos estén relacionados con factores económicos y de política agraria. Cabe destacar que si excluimos los años de El Niño/La Niña la variabilidad de rendimientos entre la mayoría de productores de caña baja mucho, en un 20% de media.

[34] *Australian Canegrower* (2013), ISN 157-3039, Volume 35, Number 4, p.4.

Tabla 4 Estadísticas de rendimientos de la caña de azúcar

	Media en t/ha	Rendimientos medios en t/ha		Crecimiento	Desviación típica en t/ha		Distribución por cuartiles (años)				
		Años 1990	Años 2000	Años 90-2000	Incl. EL/LA*	Excl. EL/LA*	C0	C1	C2	C3	C4
Norteamérica											
México	73	73	74	1%	2,63	2,80	1994	2000	2003	2001	1995
EEUU	77	77	78	1%	4,78	4,74	2010	1994	2004	2006	2000
Rendimientos medios	75	75	75	1%	2,48	2,46	1994	2009	1993	2006	1998
Centroamérica											
Barbados	54	56	52	-8%	6,17	6,16	1995	2003	2002	1992	1997
Belice	45	47	45	-3%	4,21	2,50	2011	1993	1994	2002	1999
Costa Rica	79	81	78	-4%	8,52	3,36	2011	1991	1999	1998	2003
Cuba	34	36	32	-12%	6,63	4,25	2005	2011	1999	2004	1991
Rep. Dominicana	42	31	53	42%	12,29	13,48	1995	1992	2000	2006	2005
El Salvador	80	77	80	4%	7,10	6,21	2003	1994	1993	2001	2011
Guatemala	94	96	93	-4%	8,60	8,45	2011	2004	1994	2007	1997
Honduras	79	76	80	4%	11,53	5,53	2002	2004	2007	1998	2010
Jamaica	59	61	57	-7%	5,20	4,61	2005	2008	1997	1994	1993
Nicaragua	77	67	85	22%	11,64	11,23	1993	1991	2002	2004	2011
Panamá	53	51	54	5%	5,48	3,72	1991	2007	2005	1992	2010
Trinidad y Tobago	54	55	54	-2%	3,10	2,99	1998	2006	2007	2000	1997
Rendimientos medios	51	46	56	18%	7,15	5,58	1995	1998	1992	2006	2008
Sudamérica											
Argentina	69	63	74	15%	7,32	9,99	1996	1998	2000	2009	2005
Bolivia	45	42	47	10%	4,30	3,35	1992	1993	2008	2005	2006
Brasil	71	66	75	12%	5,30	3,88	1991	1994	2001	2006	2009
Colombia	94	86	99	13%	10,17	6,27	1993	2000	1997	2005	2011
Ecuador	74	69	77	11%	9,99	4,62	1997	2004	2001	2010	2008
Guayana	49	60	43	-38%	27,48	16,18	2011	1995	1991	2002	1998
Perú	119	115	122	6%	8,74	7,40	1993	2005	1994	2011	2008
Venezuela	67	62	72	13%	5,91	5,00	1991	1996	1999	2008	2007
Rendimientos medios	72	68	76	11%	4,95	4,05	1991	1996	2001	2006	2009
Asia											
Bangladesh	40	41	39	-3%	1,44	1,61	2006	2004	1991	1996	1997
China	65	64	66	4%	5,49	3,11	1996	1993	2002	2009	1999
India	68	69	66	-4%	3,47	2,41	2004	1991	2002	2011	1999
Indonesia	71	72	69	-4%	7,05	4,58	2008	2000	2002	1991	1992
Irán	77	74	79	6%	13,73	8,61	2009	1996	1997	2001	2004
Japón	63	66	62	-7%	6,72	3,90	2011	2006	1997	1995	1998
Malasia	69	68	71	4%	8,33	5,47	1991	2010	1996	2002	2006
Myanmar	50	46	54	16%	6,98	4,17	1999	2001	1997	2006	2010
Pakistán	48	45	49	8%	3,59	1,84	1991	2000	1999	2004	2011
Filipinas	77	72	82	12%	8,15	7,27	2000	2001	2011	1992	2010
Tailandia	58	53	62	15%	9,08	7,95	1993	1992	2004	2007	2011
Vietnam	52	47	56	17%	6,03	5,07	1993	1995	1999	2006	2011
Rendimientos medios	63	62	64	3%	2,68	1,50	1993	2005	1995	1998	2011

Fuente: FAO, NOAA, OIA

*EL/LA= El Niño/La Niña

Tabla 4 - (continuación) Estadísticas de rendimientos de la caña de azúcar

	Media en t/ha	Rendimientos medios en t/ha		Crecimiento	Desviación típica en t/ha		Distribución por cuartiles (años)				
		Años 1990	Años 2000	Años 90-2000	Incl. EL/LA*	Excl. EL/LA*	C0	C1	C2	C3	C4
Oriente Medio y África											
Chad	95	90	100	10%	7,12	2,85	1999	1994	1993	2001	1996
Congo	34	31	37	18%	7,84	7,12	1991	1997	2003	1996	1998
Costa de Marfil	66	64	67	4%	4,95	1,66	1998	2000	2005	1992	2009
Egipto	115	111	119	7%	5,65	5,64	1992	1996	1998	2001	2006
Etiopía	95	75	112	33%	35,13	12,31	1991	2002	1996	2006	2009
Kenia	84	82	85	3%	7,16	6,90	1994	1996	1993	1992	1991
Malaui	105	102	108	5%	6,36	9,39	1993	1999	1991	2007	2005
Mali	71	70	72	4%	8,06	3,76	1999	2001	2008	2005	1998
Mauricio	72	72	73	2%	5,72	3,38	1999	2006	2003	2004	1997
Marruecos	67	69	66	-6%	5,89	4,33	2005	2001	2007	1991	2000
Mozambique	13	n.d.	66	n.d.	1,64	1,66	1993	2005	2006	2009	1999
Sudáfrica	63	64	62	-2%	7,81	7,64	1993	2009	2003	2002	1997
Sudán	88	73	101	28%	15,24	14,35	1993	1995	2001	2010	2007
Suazilandia	98	98	97	-1%	4,06	3,50	1995	2007	2008	1996	1999
Tanzania	98	90	107	16%	10,04	11,62	1993	2000	1994	2010	2006
Uganda	68	68	69	1%	9,83	6,71	1991	2003	2002	2000	1997
Zambia	104	104	104	0%	3,37	2,35	1991	1998	2009	1993	1994
Zimbabue	88	89	87	-2%	22,14	16,44	1992	2008	2004	1991	1995
Rendimientos medios	67	68	72	6%	4,17	3,64	1993	2008	2009	2001	1998
Oceanía											
Australia	85	88	82	-8%	10,68	8,27	1991	2010	2008	1994	1997
Fiyi	48	51	47	-8%	5,43	3,52	2010	2003	1992	1996	1999
Rendimientos medios	80	82	77	-6%	9,37	7,10	1991	2010	2008	2000	1997

Fuente: FAO, NOAA, OIA *EL/LA= El Niño/La Niña

Por el contrario, los rendimientos para los países productores de remolacha exhiben una tendencia alcista muy clara entre los años 90 y la primera década del siglo actual. En Europa occidental los **rendimientos remolacheros** subieron casi en un 20% entre los dos periodos (véase la tabla 5). Como ya hemos comentado antes, la subida de temperaturas combinada con un gradual aumento en el nivel de precipitaciones en latitudes más altas podría ayudar a explicar esta tendencia (esto se comprueba empíricamente en las próximas secciones).

Tabla 5 Estadísticas de rendimientos de la remolacha azucarera

	Media en t/ha	Rendimientos medios en t/ha		Crecimiento	Desviación típica en t/ha		Distribución por cuartiles (años)				
		Años 1990	Años 2000	Años 90-2000	Incl. EL/LA*	Excl. EL/LA*	C0	C1	C2	C3	C4
Europa occidental											
Austria	62	57	66	13%	7,48	7,19	1992	2003	2007	1999	2011
Bélgica-Luxemburgo	27	63	71	n.d.	31,23	30,45	1998	2001	2002	2007	2011
República Checa	44	33	52	36%	15,88	15,74	1994	1993	1999	2007	2011
Dinamarca	54	50	57	12%	5,71	5,44	1996	1991	2001	2004	2011
Finlandia	35	32	37	13%	4,89	4,03	1996	1994	2008	2009	2011
Francia	76	70	80	13%	8,93	6,01	2001	1998	1997	2005	2011
Alemania	57	52	60	13%	5,79	4,53	1991	1997	1999	2000	2009
Grecia	60	59	61	4%	3,85	3,32	1998	1996	1992	1995	2009
Hungría	43	35	50	30%	10,72	8,58	1993	2003	2007	2009	2008
Italia	49	46	50	8%	6,25	6,43	2003	2004	1996	2007	2008
Lituania	33	24	40	41%	11,33	12,32	1991	1999	2001	2004	2011
Países Bajos	63	59	66	11%	8,02	4,23	1998	2002	1999	2007	2011
Polonia	41	35	45	22%	7,45	4,95	1994	2001	2000	2002	2011
Portugal	56	50	65	23%	16,16	11,52	2011	1994	1992	2005	2008
Rumania	25	20	30	32%	7,05	3,60	2000	2003	1991	2006	2010
Eslovaquia	40	29	49	41%	15,80	14,99	1991	1994	1999	2006	2011
España	63	52	72	28%	13,14	11,19	1991	1996	2000	2007	2011
Suecia	48	44	51	14%	5,64	3,16	1997	1994	2005	1993	2011
Reino Unido	55	51	58	13%	8,04	6,13	1995	1992	2010	1999	2011
Suiza	71	66	74	11%	8,81	5,36	2001	1992	1993	2002	2011
Rendimientos medios	56	49	60	18%	8,16	5,62	1994	1993	1999	2005	2011
Europa Oriental											
Albania	24	26	23	-13%	6,93	7,07	1993	2003	2003	1997	1996
Bielorrusia	29	22	35	39%	10,50	10,37	1991	1992	2000	2006	2011
Croacia	40	33	46	29%	12,56	14,72	1991	1995	1998	2002	2008
Moldavia	22	19	25	23%	7,46	8,50	1991	2003	1996	1993	2008
Federación de Rusia	22	15	27	44%	8,70	9,34	1991	1992	2001	2005	2011
Ucrania	22	17	26	35%	7,77	7,88	1991	2001	2003	2010	2011
Rendimientos medios	23	24	26	17%	8,33	8,66	1991	2000	2002	2005	2011
Norteamérica y Centroamérica											
Canadá	47	43	50	15%	7,52	6,06	2002	1994	2005	2004	2009
Estados Unidos	53	48	58	17%	6,55	6,51	1993	1997	2001	2009	2006
Rendimientos medios	53	48	58	17%	6,54	6,49	1993	1997	2001	2009	2006
Sudamérica											
Chile	73	64	79	20%	10,22	9,53	1991	1997	1995	2003	2011

Fuente: FAO, NOAA, OIA

*EL/LA= El Niño/La Niña

Tabla 5 - (continuación) Estadísticas de rendimientos de la remolacha azucarera

	Media en t/ha	Rendimientos medios en t/ha		Crecimiento	Desviación típica en t/ha		Distribución por cuartiles (años)				
		Años 1990	Años 2000	Años 90-2000	Incl. EL/LA*	Excl. EL/LA*	C0	C1	C2	C3	C4
Oriente Medio y África											
Egipto	48	46	50	7%	3,83	3,94	1996	1994	2009	2011	2010
Marruecos	51	50	52	5%	3,98	3,05	1997	1993	2006	2001	1998
Rendimientos medios	50	48	51	6%	3,03	2,04	1997	1993	2001	2004	2010
Extremo Oriente y Asia											
Armenia	15	14	16	9%	3,50	5,43	1991	2004	1992	1992	2003
Azerbaiyán	18	8	27	70%	12,41	11,07	1991	1995	2004	2001	2002
China	30	23	35	34%	8,52	7,48	1994	2000	2001	2009	2011
Irán	31	28	33	17%	4,66	3,37	1996	2001	1999	2007	2010
Japón	57	53	60	12%	5,48	4,41	1996	1997	1991	2003	2004
Kazajstán	16	11	21	45%	5,83	7,75	1991	1993	2001	2002	2007
Kirguizstán	17	15	18	17%	5,70	7,62	1991	1996	2007	2005	2003
Líbano	48	53	44	-21%	21,12	21,10	2002	1999	1997	1995	2004
Siria	45	42	46	8%	6,96	3,56	1991	1997	2006	2001	2011
Turquía	42	38	45	14%	6,32	4,50	1994	1992	2007	2005	2010
Rendimientos medios	36	30	40	25%	7,18	5,94	1994	1992	2000	2007	2011

Fuente: FAO, NOAA, OIA *EL/LA= El Niño/La Niña

Prácticamente todos los estudios existentes en la literatura dedicados al análisis del impacto del cambio climático sobre los cultivos azucareros se centran en la caña de azúcar más que en la remolacha azucarera. Posiblemente esto es debido al hecho de que la caña de azúcar se cultiva actualmente en algunas de las regiones que, según los escenarios de cambio climático, podrían considerarse más expuestas a condiciones de sequía y precipitaciones extremas.

La caña de azúcar se cultiva en zonas tropicales y subtropicales aproximadamente entre los 35° N y los 35° S, y desde el nivel del mar hasta altitudes de unos 1.000 metros. La temperatura mínima para el crecimiento activo es de unos 20° C. Las temperaturas diurnas medias óptimas estarían en torno a los 30° C y los mejores rendimientos se dan con grandes cantidades de radiación solar incidente. En ausencia de regadío, se necesitan unas precipitaciones de unos 1.200 mm para el desarrollo de la caña de azúcar. Mientras que para el desarrollo de la cosecha se necesita calor y lluvia, para la recolección es necesario disfrutar de unas condiciones más frescas y secas. El estrés por temperatura comienza en torno a los 35° C y unas temperaturas por encima de los 38° C pueden dar lugar a una reducción en el ritmo de crecimiento de la planta.

Sin embargo, aumentos de temperatura hasta niveles más extremos podrían, como ya hemos mencionado, venir acompañados de unas mayores concentraciones de CO_2, lo que a su vez podría reducir la susceptibilidad del cultivo a mayores índices de sequía. Las investigaciones en este campo ya han apuntado a que, en el caso

de la caña de azúcar, aumentos en la concentración de CO_2 desde 360 hasta 720 ppm podrían resultar en una mayor eficiencia hídrica de la planta.

Un reciente informe publicado por el Climate Change Journal ha sido el primero en abordar y evaluar específicamente los impactos de los cambios climáticos sobre los **rendimientos de la caña de azúcar** en el **sur de Brasil**.[35] Este estudio utiliza resultados sobre temperaturas, precipitaciones y concentración de CO_2 de los MCG PRECIS y CSIRO para concluir que el desarrollo y los rendimientos de la caña (calculados según la masa fresca del tallo de la caña) así como la eficiencia hídrica de la planta se vieron influidos positivamente por el aumento de la temperatura y de la concentración de CO_2 provocada por el cambio climático. (Es importante recalcar que los escenarios PRECIS y CSIRO difieren en cuanto a las perspectivas de precipitaciones para la región: ¡el primero pronostica un descenso mientras que el segundo prevé un aumento!). El estudio muestra que el desarrollo de la cosecha responde positivamente a incrementos de temperatura de hasta 6° C en regiones productoras clave del Centro-Sur de Brasil. Además, unos incrementos de la concentración de CO_2 de 750 ppm hacen que el tallo de la caña crezca cerca de un 10% más. Cabe destacar que los resultados muestran que la respuesta positiva del crecimiento de la caña y la mayor eficiencia hídrica provocada por el cambio climático incluso anula los impactos negativos potenciales de una previsible bajada de precipitaciones en el sur de Brasil. Las simulaciones se basaron en la variedad de caña RB86-7515, que durante la temporada 2010/11 ocupó el 28% de la superficie cultivada con caña de azúcar en Brasil. El estudio concluye que en base a los diferentes escenarios considerados los rendimientos cañeros del sur de Brasil probablemente aumenten hasta la horquilla de 96 a 129 t/ha, o un 15 a 59% más que en la actualidad. Los resultados no son concluyentes ya que asumen que el regadío todavía no sería necesario para la producción de caña de azúcar en el sur de Brasil dada la posibilidad de que se produzca una bajada de precipitaciones.[36]

Otro reciente estudio titulado "*Cultivating C4 crops in a changing climate: sugarcane in Ghana*" ha llegado a similares resultados. El estudio considera dos zonas: por una parte el noroeste y partes centrales del estado de São Paulo en Brasil, y por otra la región del río Daka, Ghana, donde se está estudiando la posibilidad de realizar proyectos azucareros a gran escala. Existe el proyecto de exportar en un futuro la tecnología de producción de biocombustibles asociados a la caña desde Brasil a África (Barka and Mlambo, 2011), lo cual sentaría las bases para un crecimiento revolucionario de las perspectivas de producción de la región (para más información, véase *MECAS (13)05 - "Papel futuro del África Subsahariana en el mercado mundial del azúcar y en el campo de las energías*

[35] Marin et al. (2012), Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil, *Climate Change*, March 2013, Volume 117, Issue 1-2, p. 227-239

[36] Entre las salvedades al modelo utilizado por el estudio (DSSAT/CANEGRO) están la implicación de ignorar los impactos de malas hierbas, enfermedades y plagas de insectos en las cosechas además de no considerar los problemas de las condiciones de la tierra, por ejemplo, salinidad o acidez.

renovables provenientes de cultivos azucareros").[37] Por lo tanto, el modelo investiga un escenario específico en el cual la **tecnología de producción de caña de azúcar** (incluyendo la variedad de la caña) se exporta, *en su totalidad,* desde **Brasil hasta Ghana**. Este estudio considera un escenario de cambio climático para África occidental en el que se da un pequeño descenso de precipitaciones (<5%).[38] El modelo también considera escenarios con incrementos de temperatura como los desarrollados por Schlenker y Roberts (2008).[39] El modelo del estudio también asume incrementos en las concentraciones de CO_2 según las formulaciones de CANEGRO.[40] El estudio muestra que doblar la concentración de CO_2 mitiga el nivel de estrés hídrico asociado con un aumento de temperatura de 4° C, con rendimientos conseguidos comparables a los niveles actuales a menores temperaturas y similares niveles de irrigación. Cabe destacar que los rendimientos medios de caña de azúcar conseguidos en Ghana bajo el escenario de cambio climático sería similares a los que se consiguen actualmente en Alagoas (noreste de Brasil), cuyas latitudes son comparables (8,5 ° N el primero y 9° S el segundo).

El modelo de la OIA para la caña/remolacha

Con el propósito de comprobar el impacto de los cambios de **temperaturas y precipitaciones sobre los rendimientos de la remolacha azucarera/caña de azúcar**, la OIA ha desarrollado un simple modelo econométrico utilizando datos climáticos observados. Con este fin, la OIA ha compilado datos sobre rendimientos cañeros/remolacheros, temperaturas y precipitaciones medias anuales de 53 grandes regiones productoras de caña/remolacha de todo el mundo.

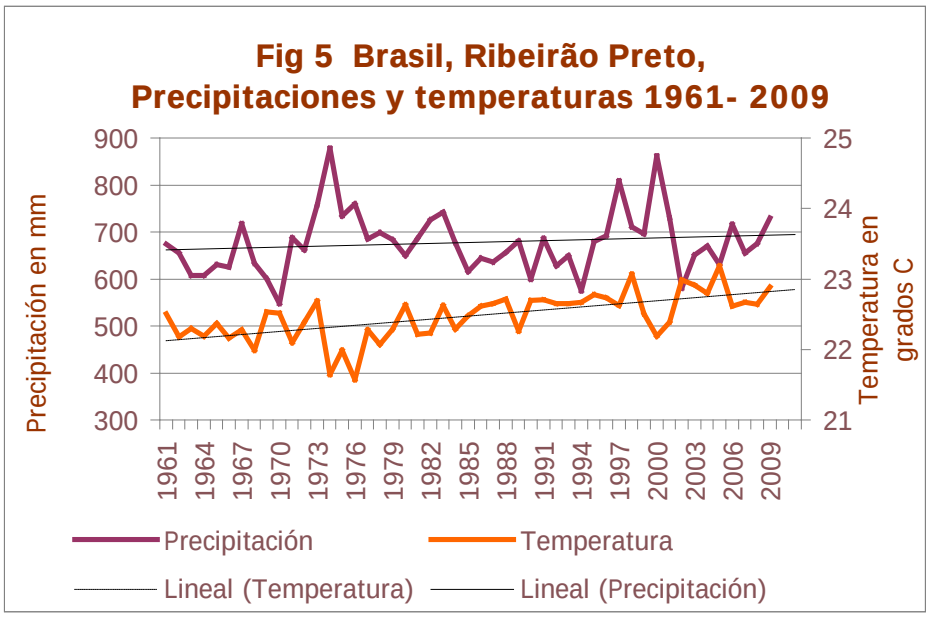
Rendimientos, temperaturas y precipitaciones en grandes regiones productoras

Los datos utilizados para el modelo son series temporales transversales para 53 regiones productoras (que producen más de 2 millones de toneladas de remolacha o caña de azúcar) entre los años 1961 y 2009. El modelo valora el impacto individual sobre el crecimiento de los rendimientos de la remolacha azucarera/caña de azúcar de cada uno de los factores analizados en este estudio: temperatura y precipitaciones. Los análisis de regresión se basan en los rendimientos remolacheros/cañeros nacionales para calcular los cambios en rendimientos locales

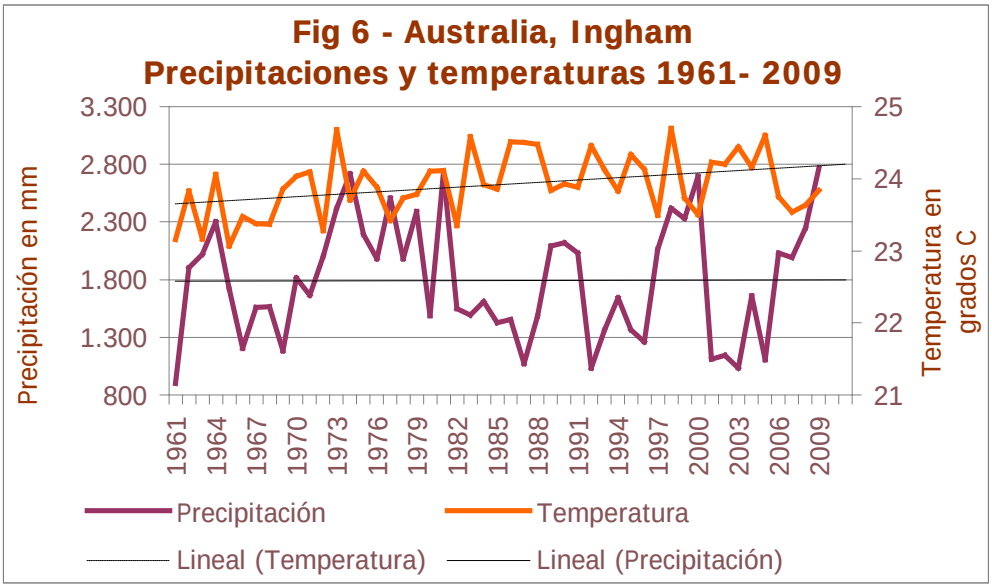
[37] Barka and Mlambo (2011), Brazil`s Economic Engagement with Africa, *Africa Economic Brief*, Volume 2, Issue 5
[38] Véase Christensen, J. H. et al. 2007 Regional climate projections, *Climate Change*, pp. 847–940. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
[39] Schlenker and Roberts (2008), Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance on Nonlinear Temperature Effects, *NBER Program* , Working Paper No. 13799
[40] Black (2012), Cultivating C4 crops in a changing climate: sugarcane in, *Environmental Research Letters*, Volume 7, Number4, web: http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/044027/article

(ya que están correlacionados). Fueron extraídos de FAOstat (estadísticas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas) así como de la OIA. Los datos sobre temperaturas y precipitaciones para las regiones productoras se obtuvieron a partir de series de datos sobre el clima de alta resolución (CRU TS 3.10) disponibles en la Climatic Research Unit de la Universidad de East Anglia, Reino Unido.

Los datos muestran que las condiciones medias de temperatura difieren entre las regiones productoras (véase la tabla 6). Por ejemplo, la temperatura media anual de KwaZulu Natal (Sudáfrica) y de Big Bent (Suazilandia) es inferior a la de Ribeirão Preto (Brasil), pero comparable a la de Tucumán (Argentina). No obstante, las dos regiones del África meridional tienen una variabilidad interanual de precipitaciones (desviación típica) tres veces mayor que la de Brasil y Argentina. Esta variabilidad es más relevante para Sudáfrica ya que otros países de África meridional, como Suazilandia, utilizan regadío. Cabe destacar que en la región australiana de Ingham la temperatura media es alta y comparable a la de Ribeirão Preto, pero la variabilidad de precipitaciones anuales (desviación típica) es ocho veces superior a la de Brasil y la mayor entre todas las regiones productoras de caña. Las figuras 5 y 6 ilustran la dinámica de las temperaturas y precipitaciones medias en Ribeirão Preto e Ingham durante los últimos 50 años, destacando el aumento de temperaturas en ambas regiones, y un patrón de precipitaciones bastante más volátil para Australia en comparación con Brasil.



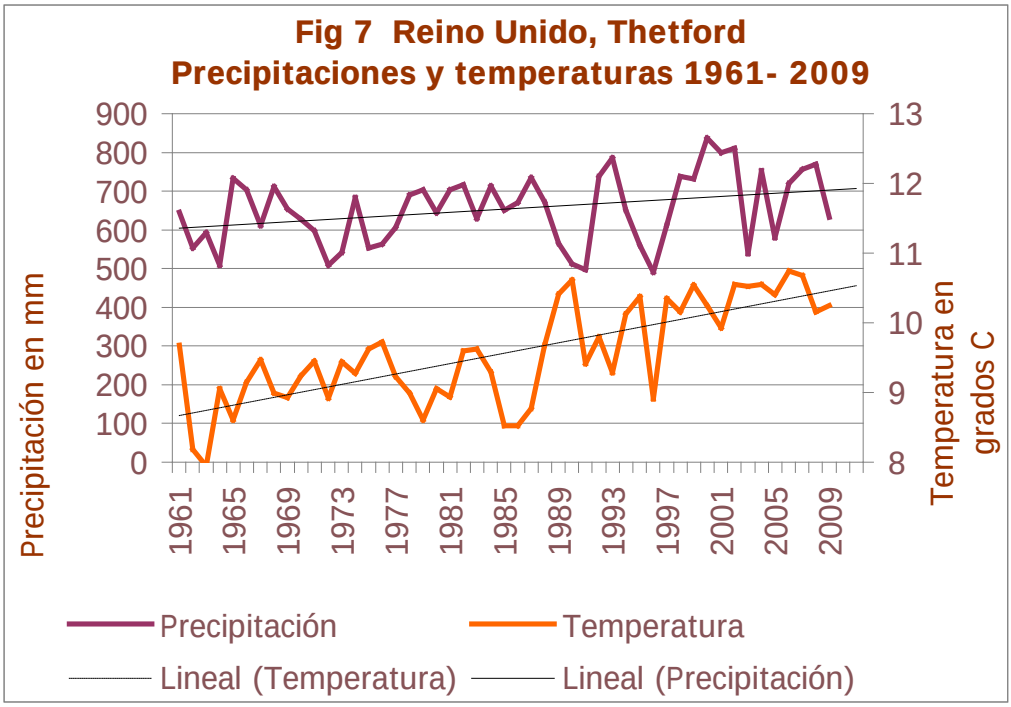
Fuente: Temperatura y precipitación: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))



Fuente: Temperatura y precipitación: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))

Una característica importante del cambio climático es que durante los últimos 50 años la temperatura media ha subido más rápido en regiones productoras de remolacha que en regiones productoras de caña. En el caso de la mayoría de productores de remolacha de Europa occidental, la tendencia muestra incrementos de temperatura media de 1,5° C desde los años 60, frente a aumentos de 1° C o menos para los productores de caña (véase el apéndice). Las precipitaciones también han aumentado en varios países productores de remolacha de latitudes más altas como Reino Unido, Bélgica, Rusia y Ucrania (aunque para Alemania y Polonia han descendido). La figura 7 ilustra la tendencia de precipitaciones y temperaturas en el caso del Reino Unido. Para los productores de caña, el volumen de precipitaciones aumentó en Sudamérica pero descendió en África ecuatorial, mientras que en África meridional se han observado pocos cambios significativos.[41] Las tablas A1 y A2 y el apéndice muestran la evolución de las precipitaciones y de las temperaturas por región productora entre los años 60 y la primera década del siglo actual.

[41] Una salvedad en los datos es que para ciertas regiones como el sur de Brasil los valores en la serie de precipitaciones parecen más bajos que los niveles publicados por otros centros meteorológicos. Sin embargo, decidimos que ello no comprometía el ejercicio econométrico de este estudio, que examina el impacto de los cambios interanuales relativos más que los valores absolutos.



Fuente: Temperatura y precipitación: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))

Tabla 6 Resumen de estadísticas para regiones productoras de caña de azúcar

			Rendimientos en t/ha (nacional)				Temperatura en grados C (local)				Precipitación en mm (local)			
País	Región	Año	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Argentina	Tucumán	1961-2009	57	10,9	40	86	20	0,4	19	20	565	59,6	455	712
Australia	Ingham	1961-2009	82	8,5	62	100	24	0,4	23	25	1 793	513,5	898	2 766
Bolivia	Santa Cruz	1961-2009	42	4,8	31	54	23	0,3	23	24	990	82,6	822	1 236
Brasil	Ribeirao Preto	1961-2009	59	11,3	42	80	22	0,3	22	23	677	65,6	548	879
Brasil	Alagoas	1961-2009	59	11,3	42	80	24	0,3	24	25	1 595	76,2	1 467	1 797
China	Huaiyuan	1961-2009	55	10,4	39	75	16	0,6	14	17	1 024	188,2	522	1 578
Colombia	Cali	1961-2009	77	17,5	39	101	25	0,3	25	26	2 025	107,4	1 712	2 230
Cuba	Cienfuegos	1961-2009	43	10,1	22	60	25	0,4	24	25	671	41,6	579	757
R. Dominicana	Santo Domingo	1961-2009	52	14,3	24	79	26	0,4	26	27	724	49,5	650	866
Ecuador	Guayaquil	1961-2009	71	9,6	56	96	25	0,3	25	26	2 290	135,2	2 027	2 553
Egipto	Aswan	1961-2009	99	14,5	75	121	25	0,7	24	26	12	5,6	7	34
El Salvador	Izalco	1961-2009	73	15,1	37	93	27	0,4	26	28	1 009	72,3	878	1 172
Guatemala	Escuintla	1961-2009	85	14,0	52	115	27	0,4	26	28	850	67,7	736	994
Honduras	Tegucigalpa	1961-2009	54	23,7	24	100	27	0,4	26	28	1 012	72,5	878	1 176
India	Uttar Pradesh	1961-2009	58	9,5	40	77	25	0,4	24	26	461	117,0	227	741
India	Kolhapur	1961-2009	58	9,5	40	77	26	0,3	25	26	1 054	218,4	628	1 581
Indonesia	Central Java	1980-2009	77	12,5	59	115	26	0,3	26	27	2 266	413,9	1 503	3 100
Kenia	Nyanza	1961-2009	77	23,4	30	121	17	0,6	16	18	1 387	210,4	810	1 768
Mauricio	Port Louis	1961-2009	71	7,5	53	82	23	0,4	22	24	1 925	422,9	1 052	3 254
México	Veracruz	1961-2009	69	5,5	55	78	26	0,4	25	26	632	30,8	563	705
Mozambique	Chemba	1961-2009	57	10,9	45	72	20	0,4	19	22	975	184,6	512	1473
Myanmar	Mandalay	1961-2009	44	10,7	28	64	23	0,4	23	24	1 315	157,7	874	1 608
Nicaragua	Monte Rosa	1961-2009	66	11,1	50	94	27	0,7	24	27	1 091	79,7	930	1 261
Pakistán	Punjab	1961-2009	41	6,3	30	57	25	0,5	24	26	402	114,3	204	673
Paraguay	Arroyos	1961-2009	43	7,3	29	62	20	0,4	20	21	568	57,1	446	724
Perú	Casa Grande	1980-2009	115	8,9	101	136	25	0,3	24	26	1 813	107,3	1 623	2 141
Filipinas	San Marino	1961-2009	73	9,2	56	97	25	0,3	24	26	2 411	415,2	1 578	3 229
Sudáfrica	Sezela	1961-2009	74	12,8	42	102	19	0,3	19	20	1 037	195,8	543	1 492
Suazilandia	Big Bent	1961-2009	101	11,3	56	121	20	0,5	20	21	840	174,1	518	1 473
Tanzania	Morogoro	1961-2009	72	32,2	25	117	24	0,4	23	25	905	189,3	646	1 571
Tailandia	Kuchinari	1961-2009	48	10,3	30	72	26	0,4	25	28	1 540	179,7	1 214	1 939
EEUU	Florida	1961-2009	82	6,7	71	99	21	0,5	21	23	1 386	159,9	1 083	1 697
Venezuela	Maracaibo	1961-2009	69	6,2	60	80	26	0,4	26	27	1 195	80,6	1 014	1 356
Vietnam	Mekong Delta	1961-2009	42	8,3	30	60	28	0,3	27	29	1 948	145,2	1 564	2 256
Zambia	Nakumbala	1969-2009	107	8,3	89	124	22	0,7	20	24	794	157,5	428	1 166
Zimbabue	Chiredzi	2001-2009	97	18,1	9	125	20	0,5	19	21	817	196,6	488	1 321

Fuente: Rendimientos: FAOstat; Temperatura y precipitación: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))

Tabla 6 - (continuación) Resumen de estadísticas para regiones productoras de remolacha azucarera

			Rendimientos en t/ha (nacional)				Temperatura en grados C (local)				Precipitación en mm (local)			
País	Región	Año	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Austria	Linz	1961- 2009	52	9,6	32	72	9	0,8	7	10	1 347	142,2	1 033	1 724
Bielorrusia	Zhabinka	1992- 2009	29	8,0	19	45	8	1,0	6	10	562	80,3	390	727
Bélgica	Bruselas	2001- 2009	70	5,9	59	83	10	0,7	8	11	865	130,6	542	1 114
China	Qiqihar	1961- 2009	18	10,0	4	41	4	0,9	1	5	413	83,0	250	597
República Checa	Praga	1961- 2009	38	8,2	24	58	9	0,8	7	10	622	97,3	389	849
Egipto	Cairo	1979- 2009	43	7,5	28	53	21	0,5	20	22	76	35,2	9	181
Francia	Beauvais	1961- 2009	58	15,8	33	94	11	0,8	9	12	624	103,7	429	821
Alemania	Hannover	1961- 2009	46	9,6	27	68	9	0,9	7	10	760	134,0	557	1 123
Japón	Kushiro	1961- 2009	49	11,6	24	68	5	0,6	4	6	1 021	161,1	733	1 415
Países Bajos	Apeldoorn	1961- 2009	54	9,2	38	79	10	0,8	8	11	804	136,7	541	1 155
Polonia	Strzelin	1961- 2009	34	6,6	22	54	8	0,8	6	10	681	97,8	493	883
Rusia	Voronezh	1961- 2009	22	5,1	12	36	7	1,1	4	9	546	69,9	409	721
Serbia	Beograd	2001- 2009	43	6,8	29	51	12	0,7	10	13	739	127,3	420	973
Turquía	Kayseri	1961- 2009	35	6,8	22	53	10	0,8	8	12	367	64,5	251	536
Ucrania	Pavlograd	1961- 2009	22	4,5	12	36	9	1,1	7	12	524	91,4	368	718
Reino Unido	Thedford	1961- 2009	43	10,8	24	74	10	0,7	8	11	653	90,5	490	837
EEUU	Fargo	1961- 2009	47	6,7	37	65	6	0,6	5	7	585	21,8	532	637

Fuente: Rendimientos: FAOstat; Temperatura y precipitación: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))

El modelo econométrico

Para estimar el efecto individual de los cambios anuales de temperaturas y precipitaciones sobre los rendimientos remolacheros y cañeros por países y por regiones se ejecutó un modelo econométrico.
El método de estimación utilizado para este estudio es un modelo doble log que puede especificarse como:

$$\log Y = \alpha + \beta_1 \log X_1 + \beta_2 \log X_2 + \cdots + \beta_n \log X_n + \varepsilon$$

Donde:

- Y: rendimientos remolacheros/cañeros
- X1,..., Xn : variables explicativas (temperatura, precipitación)
- α, β1, ..., βn : coeficientes estimados
- ε : término aleatorio

El método de estimación de este modelo doble log es el de MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios). La ventaja de este método es que el coeficiente estimado puede interpretarse directamente como elasticidades (véase más abajo). En otras palabras, el valor calculado de βn puede interpretarse como las elasticidades temperatura/precipitación directas de los rendimientos remolacheros/cañeros. Además, el valor calculado de α es el coeficiente estimado de la constante, es decir, la respuesta a otros factores tales como los cambios tecnológicos y los cambios en materia política.

Modelo doble log y elasticidad de los rendimientos cañeros/remolacheros

$$\log Y = \alpha + \beta \log X$$

$$\partial \log Y = \partial (\beta \log X)$$

$$\frac{1}{Y} \partial Y = \frac{\beta}{X} \partial X$$

$$\beta = \frac{\partial Y}{\partial X} \frac{X}{Y}$$

$$\beta = e_{X/Y}$$

El modelo arroja fuertes resultados para las subidas de temperatura como determinantes del crecimiento de rendimientos tanto en países productores de remolacha como de caña. Un aumento de 1° C en la temperatura media local

aumentaría los rendimientos remolacheros en un 2,7% en Francia, un 1,99% en Suffolk, Reino Unido, en un 1,47% en Países Bajos, en un 0,88% en Fargo (EEUU) y en un 1,15% en el norte de Alemania (véase la tabla 7). No hay vínculos significativos entre los cambios en los patrones de precipitaciones y los rendimientos remolacheros, aunque han resultado positivos y ligeramente significativos para China, Reino Unido, Rusia, Austria y Turquía, y negativos para Bélgica y Japón (aunque para estos dos el ajuste del modelo, la raíz cuadrada, fue especialmente débil).

En el caso de los productores de caña las regresiones econométricas produjeron un ajuste peor (véanse las tablas 8 y 9). En total, los aumentos de temperatura y de precipitaciones arrojan impactos positivos para los rendimientos de la mayoría de los países, pero el coeficiente estimado para las precipitaciones es menos significativo. En el caso de algunos países productores de caña, hay un aparente fuerte impacto de los cambios de temperatura sobre los rendimientos, aunque los aumentos medios de temperatura han sido menores para las regiones productoras de caña que para las regiones productoras de remolacha. Por ejemplo, un descenso/aumento de temperatura de 1% en Brasil está asociado, ceteris paribus, a subidas/bajadas de rendimientos de hasta el 10% en Brasil. Sin embargo, es probable que en realidad parte de estos cambios en rendimientos se produzca también por la introducción de diferentes variedades de caña y por los cambios tecnológicos en general. De igual manera, se han encontrado altos niveles de impacto por temperatura en países del África oriental, Tanzania y productores latinoamericanos como Colombia y Guatemala. En India los aumentos de temperatura no afectan a los rendimientos mientras que en Australia el impacto es mucho más suave. Para productores centroamericanos como Guatemala, El Salvador y Nicaragua, unas mayores precipitaciones estarían relacionadas ligeramente con un descenso de rendimientos. Lamentablemente para Australia y países de África meridional el ajuste del modelo era débil (menos de 0,30), posiblemente debido a que la desviación típica de los datos era mucho mayor que para otros países. Para regiones de África/Asia donde es habitual contar con regadío para la producción de caña (Suazilandia, Zimbabue, Zambia, Mozambique, Etiopía y Egipto) los cambios en precipitaciones no son lógicamente un factor a tener en cuenta y el impacto de la temperatura fue también a veces incluso insignificante (véase la tabla 9). Cabría esperar resultados similares para regiones irrigadas de productores como Malaui y Sudán, de los que no se disponía de datos.

Tabla 7 Modelo 1: Países productores de remolacha

MCO, paneles logarítmicos correlacionados con errores típicos corregidos, coeficientes estimados sobre el *logaritmo natural de los rendimientos remolacheros* en t/ha, 1961-2009; Elasticidades

	Rusia, Voronezh	Francia, Beauvais	EEUU, Fargo	Alemania, Hannover	Ucrania, Pavlograd	Turquía, Kayseri
Precipitación (log)	0,44*	0,03	0,01	0,12	0,16	0,27*
Temperatura (log)	0,19	2,70***	0,88***	1,25***	-0,01	-0,38
Constante	-0,08	-2,62*	2,19	0,28	2,11	2,86**
Número de observaciones	49	49	49	49	49	49
R^2	0,07	0,46	0,4	0,37	0,017	0,075

	Polonia, Strzelin	China, Qiqihar	Reino Unido, Thetford	Egipto, Cairo	Países Bajos, Apeldoorn	Bélgica, Bruselas
Precipitación (log)	0,07	0,62*	0,39**	0,11**	-0,17*	-0,32**
Temperatura (log)	1,00**	0,97***	1,99***	4,58***	1,47***	0,18
Constante	0,98	-2,13	-3,25**	-10,64**	1,81***	5,96**
Número de observaciones	49	49	49	31	49	10
R^2	0,3	0,27	0,48	0,37	0,53	0,29

	Bielorrusia, Zhabinka	Rep Checa, Praga	Japón, Kushiro	Austria, Linz	Serbia, Beogrado	
Precipitación (log)	0,80	0,22	-0,63***	0,40*	0,57**	
Temperatura (log)	0,22	1,11***	0,63**	1,22***	-0,22	
Constante	-2,16	-0,20	7,28***	-1,57	0,54	
Número de observaciones	18	49	49	49	9	
R^2	0,12	0,26	0,21	0,34	0,37	

****significativo al 99%; ** significativo al 95%; *significativo al 90%*

Tabla 8 Modelo 2: Países productores de caña de secano

MCO, paneles logarítmicos correlacionados con errores típicos corregidos, coeficientes estimados sobre el *logaritmo natural de los rendimientos cañeros en* t/ha, 1961-2009; Elasticidades

	Vietnam, Delta del Mekong	EEUU, Florida	Venezuela, Maracaibo	Tailandia, Kuchinarai	Sudáfrica, Sezela	Filipinas, San Marino
Precipitación (log)	-0,02	-0,15*	0,36**	-0,13	0,31***	0,05
Temperatura (log)	10,68***	-0,96**	-1,39*	4,38**	-3,96***	1,98
Constante	-31,58***	8,46***	6,21**	-9,53	13,88***	-2,48
Número de observaciones	49	49	49	49	49	49
R^2	0,4	0,13	0,12	0,1	0,28	0,04

	Perú, Casa Grande	Tanzania, Morogoro	Myanmar, Mandalay	México, Veracruz	Indonesia, Central Java	Ecuador, Guayaquil
Precipitación (log)	0,54**	-0,19	0,29	-0,08	-0,01	0,54*
Temperatura (log)	2,82**	22,10***	9,49***	3,31***	2,22	-0,80
Constante	-8,43	-64,65***	-28,24***	-6,00***	-2,88	2,68
Número de observaciones	30	49	49	49	30	49
R^2	0,2	0,36	0,3	0,36	0,015	0,06

	Mauricio, Port Louis	Guatemala, Escuintla	El Salvador, Izalco	R. Dominicana, Santo Domingo	Cuba, Cienfuegos	Colombia, Cali
Precipitación (log)	0.20***	-0.55**	-1.08***	0.45	-0.04	0.75
Temperatura (log)	1.73**	6.89***	8.7***	-9.81***	-7.67***	10.5***
Constante	-2.62	-14.55***	-17.12***	35.70***	28.55***	-35.64***
Número de observaciones	49	49	49	49	49	49
R^2	0.24	0.49	0.46	0.2	0.21	0.4

	China, Huaiyuan	Brasil, Ribeirao Preto	Brasil, Alagoas	Australia, Ingham	Argentina, Tucumán	Honduras, Tegucigalpa
Precipitación (log)	0,22	0,76***	0,52	0,14***	0,23	0,16
Temperatura (log)	3,58***	10,16***	11,29***	1,78**	5,98***	24,83***
Constante	-7,38***	-32,48***	-35,84***	-2,26	-15,20***	-79,28***
Número de observaciones	49	49	49	49	49	49
R^2	0,47	0,54	0,4	0,18	0,35	0,58

	Kenia, Nyanza	Paraguay, Arroyos	Bolivia, Santa Cruz	Nicaragua, Monte Rosa		
Precipitación (log)	-0,48	0,27	0,72***	-0,27***		
Temperatura (log)	3,27**	5,84***	3,86***	3,60*		
Constante	-1,45	-15,61***	-13,36***	11,35***		
Número de observaciones	49	49	49	49		
R^2	0,14	0,35	0,27	0,25		

****significativo al 99%; ** significativo al 95%; *significativo al 90%*

Tabla 9 Modelo 3: Países productores de caña con regadío

MCO, paneles logarítmicos correlacionados con errores típicos corregidos, coeficientes estimados sobre el *logaritmo natural de los rendimientos cañeros en* t/ha, 1961-2009; Elasticidades

	Suazilandia, Big Bent	Pakistán, Punjab	Mozambique, Chemba	Zimbabue, Chiredzi	Zambia, Nakumbala	India, Uttar Pradesh
Temperatura (log)	0,43	3,73***	4,25***	-4,42**	0,15	1,97
Constante	3,31	-8,29***	-8,72***	17,77***	4,21***	-2,29
Número de observaciones	49	49	49	49	49	49
R^2	0,006	0,24	0,5	0,09	0,003	0,04

	India, Kolhapur	Egipto, Aswan	Etiopía, East Wollega			
Temperatura (log)	4,83**	3,54***	0,9			
Constante	-11,64*	-6,83***	1,92			
Número de observaciones	49	49	17			
R^2	0,1	0,4	0,019			

****significativo al 99%; ** significativo al 95%; *significativo al 90%*

Sección 3: Mitigación y adaptación al cambio climático

Dada la extensa variedad de escenarios de cambio climático no resulta sorprendente que las opciones de mitigación y adaptación también varíen considerablemente, no solamente a nivel regional sino también de acuerdo con las diferentes percepciones del sector agrícola y de la industria azucarera. El propio IPCC ha recogido algunas opciones teóricas de adaptación y mitigación del cambio climático resultante de los modelos específicos. Algunos de estos modelos contemplan la captura y almacenamiento de carbono y sumideros forestales de carbono, e incluso calculan sus probabilidades de éxito en base a los actuales precios de mercado del CO_2. Entre los programas de adaptación al cambio climático más exhaustivos pueden mencionarse los de la UE, así como el trabajo del Banco Europeo de Inversiones o del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo.[42] El recientemente modificado Protocolo de Kioto cambia las disposiciones para capturar recursos para la adaptación al cambio climático: el Fondo de Adaptación ya no solamente dependerá de fondos de actividades de proyectos del mecanismo de desarrollo limpio sino que también dependerá en un 2% de los ingresos de otros dos mecanismos del Protocolo: intercambio de derechos de emisión de CO_2 y aplicación conjunta (véase el cuadro 4).

La **adaptación** al cambio climático en la agricultura normalmente se asocia al despliegue de nuevas tecnologías, como por ejemplo el desarrollo de nuevas semillas con mejor resistencia a las enfermedades o mayor tolerancia a la sequía, variedades de mayor rendimiento que compensen el aumento de humedad o nuevas técnicas de gestión de la tierra para conservar recursos hídricos, entre otras.

Las medidas de **mitigación** contemplan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de frenar el ritmo del cambio climático. El pasado noviembre la Organización Meteorológica Mundial publicó un informe (November Gas Bulletin) en el que estima que desde el comienzo de la era industrial en 1750 las emisiones totales de CO_2 han alcanzado los 375.000 millones de toneladas. La concentración media estimada de CO_2 ascendía en 2011 hasta las 390 ppm, frente a las 280 ppm de 1750. Gran parte del aumento tuvo lugar en el periodo entre 1991 y 2011. De todas formas, las estrategias de mitigación y adaptación pueden desarrollarse conjuntamente. Según una reciente investigación de la Universidad de Standford, con una inversión de 225.000 millones de dólares en medidas de adaptación agraria se contrarrestarían los efectos negativos sobre los rendimientos

[42] Hay cinco fondos estructurales y de inversión europeos (Fondos ESI): el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF), el Fondo Social Europeo (ESF), el Fondo de Cohesión (CF), el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (EAFRD) y el Fondo Europeo de Pesca (EMFF). Para más información véase, http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/financing/index_en.htm, última actualización, abril de 2013

que se asocian con los cambios pronosticados en temperaturas y precipitaciones y, al mismo tiempo, salvar 61 millones de hectáreas de la conversión a tierras de cultivo, lo cual resultaría en una reducción equivalente de emisiones de 15 gigatoneladas de dióxido de carbono para 2050.[43] Este capítulo resume las estrategias específicas de mitigación y adaptación al cambio climático que se están explorando en la industria azucarera de todo el mundo, bien sea de remolacha o de caña, así como algunas cuestiones de actualidad que rodean al intercambio de emisiones de CO_2.

Cuadro 4 El Protocolo de Kioto de la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático y el sistema de intercambio de emisiones de la UE

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional vinculado a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático que compromete a sus partes a fijar objetivos de reducción de emisiones internacionalmente vinculantes, poniendo una carga mayor sobre los países desarrollados. Los gases en cuestión son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), polifluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Los objetivos de reducciones se consiguen a través de tres mecanismos: actividades de proyectos del MDL, intercambio de emisiones de CO2 e implementación conjunta. El Protocolo fue aceptado en Kioto el 11 de diciembre de 1997, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Su última modificación fue realizada en Doha el 8 de diciembre de 2012. En http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php puede verse información completa sobre el Protocolo de Kioto. Véase también *MECAS(04)04 – "Azúcar mundial y energía renovable".*

El sistema de comercio de derechos de emisiones de la UE (EU ETS) es actualmente un referente para el intercambio de emisiones de CO_2 en todo el mundo. El programa tuvo su inicio en enero de 2005 como el mayor sistema mundial de comercio de derechos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el que participaban múltiples países y múltiples sectores. Es un sistema de comercio con fijación previa de unos límites máximos, lo cual significa que las compañías reciben permisos que establecen la cantidad total de ciertos gases de efecto invernadero que pueden emitir. El sistema se basa en la directiva 2003/87/CE, que entró en vigor el 25 de octubre de 2003, y que fue revisada en junio de 2009 para incorporar la nueva directiva sobre renovables de la comunidad. La revisión fue concebida para conseguir el objetivo medioambiental total de la UE de una reducción del 20% de emisiones de GEI y de un 20% de energías renovables en el consumo total energético de la UE para el año 2020. Durante los últimos años algunas voces han sostenido que estos programas dan demasiados permisos para emitir carbono y que se ha creado un excedente de hasta 2000 millones de toneladas de CO_2. En gran medida, el excedente obedece a la crisis económica que ha deprimido las emisiones más de lo previsto. En consecuencia, los precios han descendido desde los 20 euros la tonelada (30 dólares) de 2011 hasta los 5 euros la tonelada a principios de 2013. El sistema sufrió otro golpe el 16 de abril de 2013, cuando el Parlamento Europeo rechazó en una votación un intento de reformar el ETS. El resultado fue el hundimiento de los precios del carbono: el 17 de abril los precios caían hasta los 2,75 euros la tonelada (véase www.economist.com del 20 de abril de 2013). Según un reciente informe de mercado este bajo precio está incentivando a los generadores eléctricos a cambiarse del gas al carbón, y también a construir más estaciones térmicas alimentadas por carbón. A pesar de los últimos contratiempos con el programa europeo, en todo el mundo se están creando otros sistemas de comercio de derechos de emisiones (China, Australia) y se espera que jueguen un papel importante en la reducción de emisiones de GEI.

[43] Lobell et al (2013), "Climate adaptation as mitigation: the case of agricultural investments", *Environmental Research Letters*, website: http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/1/015012/article;

Caña de azúcar

Tal como ha quedado patente en las dos secciones anteriores del estudio, gestionar los fenómenos meteorológicos extremos podría ser el principal desafío de la industria de la caña de azúcar en el terreno del cambio climático. La industria de la caña de azúcar de todo el mundo está dando un giro hacia los cultivos biotecnológicos como estrategia de **adaptación** al cambio climático. Algunos de los programas más activos en relación con la caña de azúcar biotecnológica son: en Brasil CTC (Centro Tecnológico Canavieira); Instituto Agrónomo de Campinas (IAC) en colaboración con Syngenta; Embrapa, en colaboración con el centro internacional de investigaciones para las ciencias agrícolas de Japón (JIRCAS); CanaVialis y Alellyx de Monsanto; y BASF y Bayer. En Australia el recientemente creado SRA (Sugar Research Australia), que incorpora a BSES y su colaboración con Dupont; el Cooperative Research Center for Sugar Industry Innovation through Biotechnology (CRC-SIIB) así como la Universidad de Queensland, en colaboración con Sucrogen y Syngenta. En Brasil las investigaciones se han centrado en variedades resistentes a la sequía mientras que en Australia el interés está principalmente en aumentar los contenidos de sacarosa (posiblemente también buscando mitigar el potencial impacto del descenso de contenidos de sacarosa que provocaría un aumento de la frecuencia de las inundaciones).

Tradicionalmente la industria de la caña ha utilizado varios instrumentos de cobertura financiera (precios/cosechas) para aminorar las pérdidas de ingresos provocadas por fenómenos meteorológicos extremos. Por ejemplo, los productores de caña de azúcar australianos utilizan un mecanismo de cobertura de la producción contra las posiciones de precios futuros de bolsas que contratan derivados, como puede ser el contrato de futuros del azúcar del ICE de Nueva York. También se utilizan mucho otros instrumentos como los seguros privados para las cosechas. Se está observando un esfuerzo concertado cada vez mayor de la industria para proporcionar un asesoramiento general a sus miembros que les proteja específicamente del cambio climático. En Australia la University of Southern Queensland y Canegrowers han estado trabajando conjuntamente en la elaboración de una lista de opciones y herramientas estratégicas más sistemáticas para ayudar a los productores a hacer frente a las variabilidades climáticas.[44] Entre las opciones barajadas están la selección de variedades adecuadas, la configuración de parcelas y explotaciones, el tamaño y tipo de equipamiento, prácticas de labranza, elección de equipamientos y tecnología de regadío, y compra de fertilizantes, herbicidas y otros productos químicos. Además, la información se disemina a través de boletines meteorológicos periódicos (SOI y GCM), con mapas de precipitaciones y previsiones de temperaturas para ayudar con las decisiones de

[44] CANEGROWERS (2012), "Climate Variability: Tools for Primary Producers in the Sugar Industry", *Cane Growers and the Queensland Government*.

cultivo, irrigación, rociado de productos químicos, fertilizantes y recolección. Se presta particular atención a pronosticar la posible aparición de El Niño/La Niña.

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala, ha creado un sistema de alerta temprana para inundaciones con la colaboración de especialistas y de estudiantes graduados para preparar a los agricultores a enfrentarse a situaciones de lluvias extremas. El programa está parcialmente financiado por la Unión Europea y trabaja las alertas de inundaciones para los ríos María Linda y Los Esclavos. Con la colaboración de AZAZGUA y del Ingenio Magdalena, el Instituto ha construido una presa de 500 m en el Río Achiguate para prevenir inundaciones. También hay un importante programa en marcha para desarrollar y gestionar acuíferos complejos para la retención de aguas subterráneas. Además, el Instituto está organizando programas para la quema de caña que tienen por objeto minimizar su impacto medioambiental, y también difunde informes y recomendaciones a la industria azucarera del país sobre El Niño/La Niña.[45]

Cabe destacar la creciente participación de centros de investigación sobre cambio climático en el campo de la investigación sobre nuevas variedades de cultivos, entre ellos la caña de azúcar. Uno de los centros punteros mundiales sobre cambio climático, la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), está realizando actividades de mejoramiento de caña en Australia, incluyendo variedades de caña de azúcar genéticamente modificada (para más información, véase *MECAS(10)05 – "Remolacha y caña transgénicas: Perspectivas en un nuevo entorno comercial"*). Centros de investigación agroeconómica como el IFPRI han estado trabajando con compañías biotecnológicas para crear cultivos resistentes a las inundaciones y a las sequías que puedan tolerar las consecuencias del cambio climático.[46]

En lo que respecta a tareas de **mitigación**, la industria de la caña de azúcar también está realizando enormes avances. La industria ha declarado que la diversificación en cogeneración y producción de etanol es la forma más eficaz de ayudar a frenar las emisiones de gases de efecto invernadero. Según UNICA (asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar), la utilización de etanol hidratado de caña en el parque de vehículos flex-fuel del país ha contribuido a una reducción de emisiones de CO_2 del orden de 177 millones de toneladas desde

[45] ICC, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático , Guatemala, www.icc.org.gt

[46] Lundee (2010), Biology Fortified, Inc. (BFI), http://www.biofortified.org/2010/07/genetically-modified-foods-could-be-a-solution-to-the-effects-of-climate-change/

2003.[47] Illovo Sugar ha dado a conocer hace poco una estrategia medioambiental para frenar las emisiones de GEI de todas sus plantas procesadoras de África. La compañía ahora publica sus emisiones de GEI anualmente a través de la participación en el índice SRI (Inversiones Socialmente Responsables) del mercado JSE.[48] Tiene el objetivo de reducir sus GEI en un 25% para 2017 realizando nuevas inversiones en cogeneración con bagazo de caña y recolección de caña sin quemar. Para la cogeneración con bagazo se estima una reducción de emisiones de unas 0,55 toneladas de CO_2 por tonelada de bagazo empleada.[49]

Otras de las medidas de mitigación del cambio climático en la industria de la caña son las de minimizar las emisiones de GEI por el uso de fertilizantes. Un reciente estudio publicado conjuntamente por investigadores brasileños ha concluido que las emisiones de óxido nitroso de los cañaverales varían dependiendo de la fuente de nitrógeno empleada como fertilizante. Para dosis superiores a los 107,9 kg/ha de nitrato de amonio, las emisiones de N_2O aumentan exponencialmente con respecto a la superficie. Este estudio es útil para calcular la contribución adicional de la caña de azúcar a la reducción futura de emisiones de GEI.[50]

Remolacha azucarera

Aunque es posible que el cambio climático provoque menos daños al cultivo de la remolacha, la industria de la remolacha azucarera cumple la legislación vigente sobre **mitigación** del cambio climático recortando emisiones de gases de efecto invernadero. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural de la Comisión Europea, entre 1990 y 2006 la agricultura de la UE recortó sus emisiones en un 20%. Los productores y procesadores de remolacha de la UE están teniendo resultados especialmente buenos a la hora de recortar sus propias emisiones de GEI y de mejorar su balance y eficiencia energética, según un estudio conjunto de CIBE-CEFS. [51] La industria del azúcar de remolacha de la UE también reconoce el potencial impacto positivo del cambio climático sobre los rendimientos remolacheros, especialmente durante la

[47] UNICA, asociación brasileña de la industria de la caña de azúcar, http://unica.com.br/noticia/18631428920316336797/etanol-no-brasil-ja-evitou-mais-de-177-milhoes-de-toneladas-de-co2-desde-2003/

[48] *Informe anual integrado de Illovo 2012*, http://www.illovosugar.co.za/files/2012%20IAS%20008%20Sustainability%20Environment%20Impact.pdf

[49] Sugarcane-Based Bioethanol – Energy for Sustainable Development. BNDES, Río de Janeiro, noviembre de 2008

[50] Signor et al. (2013), N_20 emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil, *Environmental Research*, http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/1/015013/article

[51] CIBE-CEFS, The EU Beet and Sugar Sector: A Model of Environmental Sustainability (2010), http://www.agrana.at/fileadmin/inhalte/agrana_group/downloads/EU_beet_an_sugar_sector_a_model_of_environmental_sustainability.pdf

pasada década: entre 1999/2000 y 2008/09, aunque las superficies cultivadas con remolacha para la producción de azúcar casi se redujeron a la mitad en la UE-27 el rendimiento medio de azúcar por hectárea subió cerca de un 30%. Según el instituto técnico de la remolacha azucarera de Francia (ITB), cerca del 60% de los aumentos de rendimientos azucareros registrados en Francia entre 1990 y 2006 se debieron al cambio climático, mientras que cerca del 40% del aumento se debió a la investigación y desarrollo de variedades y prácticas de labranza. Como cabía esperar, el impacto futuro del cambio climático sobre los rendimientos azucareros dependerá de una combinación favorable de altas temperaturas y disponibilidad de agua.[52] En un estudio del Reino Unido se han obtenido resultados similares.[53]

Las emisiones de GEI y el consumo energético generados por el cultivo de remolacha se derivan principalmente de la producción y del uso de insumos agrícolas, especialmente el diesel y los fertilizantes. (Para un análisis cuantitativo/cualitativo sobre el modo en que la industria de la remolacha europea aborda la cuestión del uso de fertilizantes y plaguicidas véase *MECAS (11)18 – "Costes de insumos en el cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera").* En Europa la remolacha azucarera se cultiva en el mismo terreno durante ocho meses solamente cada tres a cinco años. Esta rotación contribuye a un incremento de rendimientos de los cereales de hasta el 10 o 20% en Europa, y a la reducción de la necesidad de utilizar fertilizantes. La UE también ha conseguido reducir en un 30% el uso de fertilizantes de nitrógeno (N) durante los últimos 10 años además de seguir logrando crecimientos de rendimientos. Los usos de plaguicidas también han descendido notablemente en la comunidad. Incluso la propagación de plagas y enfermedades tales como la rizomanía, los nematodos, la rizoctonia y la cercospora, en gran medida provocadas por el cambio climático, se ha acotado con la adopción de variedades de remolacha que son tolerantes o resistentes a una o más de estas enfermedades y que tienen un mayor contenido azucarero (es decir, mayor acumulación de materia seca en la raíz en lugar de en las hojas).

La mejora de la gestión del suelo es otra herramienta utilizada para contribuir a regular las emisiones de tres gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso). Esto se ha logrado aumentando la eficiencia de la gestión del nitrógeno, reduciendo el aporte de nitratos a la tierra, reduciendo la compactación del suelo y aplicando fertilizantes en los momentos y volúmenes óptimos. Mientras tanto, se están aplicando estrategias de gestión hídrica más eficaces que ayuden a hacer frente a un potencial descenso de la disponibilidad de agua en el futuro, además de cumplir con la directiva marco sobre el agua (2000/60/CE) que entró en vigor en el año 2000. La necesidad de agua para la producción de azúcar/etanol de remolacha es menor que para la caña.

[52] Véase la publicación de ITB 'Betterave sucriere : Progres techniques et Environnement' (2007)
[53] Qi and Jaggar, intlcss, The impact of climate change on sugar beet yield in the UK: 1976- 2004', 2006

Algunas voces sostienen que desde principios de los años 90 y en un plazo de tiempo de 15 años la industria del azúcar de la UE redujo hasta en un 50% sus emisiones de carbono, habiendo reducido la cantidad de energía utilizada por tonelada de remolacha en más de un 40% en países como Alemania y los Países Bajos entre 1990 y 2007. Otros de los pasos en la mejora de la eficiencia energética han sido la utilización de sistemas combinados de calor y electricidad, la instalación de sistemas de evaporación multi-efecto y la mejora en la eficiencia del prensado de pulpa. Además, el sector de la remolacha y del azúcar de Austria, Francia, Alemania, Hungría, Países Bajos, Polonia y Suecia está produciendo biogás, que se utiliza para sistemas de calefacción y en sustitución de combustibles fósiles.

En Estados Unidos y Canadá la remolacha azucarera Roundup Ready (Event H7-1) tan sólo entró en el mercado en el año 2008 y ya ha conseguido un total éxito comercial como cultivo transgénico con una implantación de casi el 100%. Monsanto y el productor de semillas alemán KWS (KWS Saat AG) han desarrollado esta remolacha transgénica resistente al glifosato (Roundup Ready). Gracias a ello el uso de fertilizantes ha descendido notablemente desde 2010 (para más información véase *MECAS(11)18*).

Conclusiones y perspectivas para los cultivos azucareros

Este estudio ha demostrado que para bien o para mal el cambio climático está afectando a la agricultura mundial en general y a los cultivos azucareros en particular. A pesar del compromiso asumido por muchos países del mundo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, las concentraciones atmosféricas de CO_2 (el principal responsable del efecto invernadero) se acercan ya al nivel de las 400 ppm, desde las 375 ppm de 2005 y las 280 ppm de la era pre-industrial. Hasta el momento, el calentamiento global combinado con un aumento de las precipitaciones, que según las previsiones continuará en altas latitudes septentrionales, ha contribuido a elevar los rendimientos remolacheros. Sin embargo, para los países productores de caña las perspectivas son mucho menos halagüeñas. El último informe del IPCC (2007) concluye que los “futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) se volverán más intensos, con mayores velocidades punta de los vientos y con precipitaciones más fuertes asociadas al constante aumento de la temperatura de la superficie de los mares tropicales”. Se espera que este tema siga siendo de central importancia para muchos países productores de caña de azúcar, desde Australia a Centroamérica. Además, para África meridional es probable que se produzca un aumento de la frecuencia de las sequías.

Cuantificar el impacto de los aumentos anuales de temperaturas y precipitaciones sobre los cultivos azucareros y sobre la agricultura en general es una tarea

complicada. En primer lugar los supuestos escenarios de cambio climático que se extraen de una multitud de modelos climáticos (conocidos como MCG) son numerosos y existe toda una serie de opiniones polarizadas sobre las consecuencias que tendrán en el futuro para la agricultura. Un factor común a los modelos existentes apunta a la conclusión de que los aumentos en la concentración de CO_2, junto con la subida de temperaturas, podrían contrarrestar el impacto negativo que tendría el descenso de precipitaciones sobre la productividad agraria de algunas regiones. Esta es la razón por la cual muchos científicos pronostican que incluso en los escenarios más extremos de sequía los rendimientos agrarios no se verían seriamente amenazados. A nivel global, centros de investigación agraria como el IFPRI incluso estiman que los cambios tecnológicos por sí solos podrán contrarrestar con creces los potenciales impactos negativos del cambio climático sobre la productividad agraria general.

En este estudio la OIA ha intentado aportar un poco más de luz a esta cuestión observando la relación entre los rendimientos remolacheros/cañeros, las temperaturas y las precipitaciones de 53 regiones productoras de remolacha/caña de todo el mundo durante el transcurso de los últimos 50 años. Una conclusión es que la temperatura media y, a veces, las precipitaciones han subido antes para los productores de remolacha que para los productores de caña. En general esto ha sido beneficioso para los rendimientos remolacheros. Los cambios en temperatura media de las regiones productoras de remolacha han alcanzado cerca de 1,5° C en los últimos 50 años frente al incremento inferior a 1° C alcanzado en las regiones productoras de caña. En segundo lugar, no parece probable que el cambio climático provoque graves problemas en algunas regiones productoras de caña claves como el sur de Brasil y el este de África. La evidencia de los efectos positivos del aumento de temperaturas en los rendimientos del sur y este de África demuestra que la mayor amenaza del cambio climático para los cultivos de caña no es el calentamiento global *per se,* sino el posible aumento de la frecuencia de fenómenos extremos tales como sequías o ciclones. Las regiones productoras de caña con una variabilidad anual de precipitaciones notablemente alta tales como Ingham en Australia y KwaZulu en Sudáfrica, por ejemplo, sufren más por fenómenos meteorológicos extremos, cuya intensidad y frecuencia podría aumentar todavía más con el cambio climático. Para productores centroamericanos como Guatemala, El Salvador y Nicaragua, existe la posibilidad de que aumenten los efectos negativos de fuertes inundaciones sobre la productividad de caña. Para el África meridional es lo contrario: las sequías parecen ser la mayor amenaza. Es más, un análisis de los datos indica que si excluímos los años de El Niño/La Niña la variabilidad de rendimientos se reduce enormemente, en una media del 20% para los países productores de caña. Como es natural no fue posible discernir el vínculo entre temperatura, precipitaciones y rendimientos para algunos países africanos que tradicionalmente usan técnicas de regadío.

Los productores de caña podrían tener que dedicar un esfuerzo cada vez mayor en la adopción de técnicas de mitigación y adaptación al cambio climático, mientras que los productores de remolacha seguirán concentrándose en las técnicas de mitigación. Los esfuerzos por aliviar los impactos del cambio climático están en su mayor parte vinculados a la legislación de gobiernos nacionales para frenar las emisiones, tales como las contempladas en el Protocolo de Kioto o en las directivas de la UE, así como en el sistema de comercio de derechos de emisiones de la UE. Entre las medidas de mitigación también se encuentran las de un uso más eficiente de los fertilizantes para frenar las emisiones de nitrógeno y el perfeccionamiento de la gestión de tierras y aguas, así como la mejora de la eficiencia energética en el agro. En el caso de los productores de caña, la eliminación de la quema de la caña, el desarrollo de la producción de bioetanol y los sistemas de cogeneración con bagazo de caña son importantes opciones de mitigación. En lo que respecta a la adaptación, Australia y Centroamérica, dos regiones que se ven fuertemente afectadas por los fenómenos de El Niño/La Niña, han redoblado sus esfuerzos por desarrollar sofisticados mecanismos de alerta meteorológica que van desde la sistemática difusión de mapas de precipitaciones y pronósticos de temperaturas hasta complejos sistemas de ingeniería para hacer frente a precipitaciones extremas, como en el caso de Centroamérica. Todo ello representa un enorme paso adelante que podría ser crucial para garantizar el crecimiento de la productividad en el futuro.

Apéndice

Tabla A1 Aumento de precipitaciones y temperaturas desde los años 60 hasta la primera década del siglo XXI en países productores de remolacha

	Precipitaciones					Temperaturas				
	Media en mm	Precipitación media anual en mm		Crecimiento 2000+/1960+		Media en ° C	Temperatura media anual en grados C		Crecimiento 2000+/1960+	
		1960+	2000+	en mm	en %		1960+	2000+	en °C	en %
Europa occidental										
Austria, Linz	1347	1406	1362	-44	-3,20%	8,6	8,0	9,4	1,3	14,24%
Bélgica, Bruselas	865	868	900	32	3,58%	10,0	9,4	10,8	1,4	13,00%
Bielorrusia, Zhabinka	562	563	568	4	0,72%	7,8	7,0	8,6	1,6	18,66%
República Checa, Praga	622	629	621	-9	-1,40%	8,5	8,0	9,3	1,3	13,71%
Francia, Beauvais	624	626	620	-6	-1,02%	11,0	10,3	11,7	1,4	11,73%
Alemania, Hannover	760	799	778	-22	-2,81%	9,0	8,3	9,9	1,6	16,19%
Países Bajos, Apeldoorn	804	847	842	-5	-0,62%	9,6	8,9	10,5	1,6	15,40%
Polonia, Strzelin	681	711	666	-45	-6,82%	8,0	7,4	8,8	1,3	15,35%
Reino Unido, Thetford	653	634	719	85	11,87%	9,6	8,9	10,4	1,5	14,22%
Europa Oriental										
Federación de Rusia, Voronezh	546	533	576	43	7,40%	6,8	6,3	7,6	1,3	17,38%
Ucrania, Pavlograd	524	501	539	38	7,03%	9,2	8,9	9,9	1,0	10,33%
Norteamérica y Centroamérica										
Estados Unidos de América, Fargo	585	581	579	-2	-0,30%	5,9	5,5	6,6	1,1	16,75%
Oriente Medio y África										
Egipto, Cairo	99	91	119	28	23,51%	20,9	20,9	21,4	0,6	2,58%
Extremo Oriente y Asia										
China, Qiqihar	413	419	400	-19	-4,67%	3,5	2,8	4,3	1,5	35,55%
Japón, Kushiro	1021	1069	998	-71	-7,12%	4,5	4,4	4,9	0,5	10,26%
Turquía, Kayseri	367	360	385	25	6,42%	10,1	10,5	10,5	0,1	0,61%

Fuente: temperaturas y precipitaciones: KNMI Climate Explorer (CRU TS 3.10 (land))

Tabla A2 Aumento de precipitaciones y temperaturas desde los años 60 hasta la primera década del siglo XXI en países productores de caña

	Precipitaciones					Temperaturas				
	Media en mm	Precipitación media anual en mm		Crecimiento 2000+/1960+		Media en °C	Temperatura media anual en grados C		Crecimiento 2000+/1960+	
		1960+	2000+	en mm	en %		1960+	2000+	en °C	en %
Norteamérica										
México, Veracruz	632	637	646	9	1,40%	25,7	25,4	26,1	0,8	3,04%
EEUU, Florida	1386	1372	1369	-3	-0,22%	21,0	20,7	21,6	0,9	4,14%
Centroamérica										
Cuba, Cienfuegos	671	659	675	16	2,43%	24,6	24,4	25,1	0,8	3,09%
Rep. Dominicana, Santo Domingo	724	721	755	34	4,47%	26,4	26,0	26,8	0,8	2,99%
El Salvador, Izalco	1009	1052	1039	-13	-1,23%	27,2	26,8	27,7	0,9	3,42%
Guatemala, Escuintla	850	905	877	-27	-3,13%	26,9	26,4	27,4	1,0	3,56%
Honduras, Tegucigalpa	1012	1056	1043	-13	-1,26%	27,2	26,8	27,7	0,9	3,43%
Nicaragua, Monte Rosa	1091	1144	1129	-14	-1,25%	26,4	26,0	26,9	0,9	3,46%
Sudamérica										
Argentina, Tucumán	565	513	560	46	8,30%	19,6	19,3	19,9	0,5	8,30%
Bolivia, Santa Cruz	990	932	1013	80	7,92%	23,2	23,0	23,4	0,4	7,92%
Brasil, Ribeirao Preto	677	630	690	60	8,70%	22,5	22,3	22,7	0,4	8,70%
Brasil, Alagoas	1595	1587	1603	16	0,99%	24,4	24,3	24,6	0,3	0,99%
Colombia, Cali	1896	1908	1956	48	2,45%	25,4	25,2	25,8	0,6	2,45%
Ecuador, Guayaquil	2290	2280	2380	100	4,19%	25,5	25,3	25,8	0,5	4,19%
Paraguay, Arroyos	568	528	566	38	6,67%	20,4	20,2	20,8	0,6	6,67%
Perú, Casa Grande	1813	1822	1834	12	0,64%	25,1	25,1	25,4	0,3	0,64%
Venezuela, Maracaibo	1195	1242	1239	-3	-0,23%	26,3	26,0	26,8	0,8	-0,23%
Asia										
China, Huaiyuan	1024	952	1084	133	12,25%	16	15,4	16,4	1,1	6,43%
India, Uttar Pradesh	461	448	424	-24	-5,58%	25	25,0	25,4	0,4	1,39%
India, Kolhapur	1054	1188	1066	-121	-11,37%	26	25,5	25,8	0,3	1,29%
Indonesia, Central Java	2266	2187	2302	115	4,98%	26	25,8	26,4	0,6	2,41%
Myanmar, Mandalay	1315	1342	1359	17	1,27%	23	23,1	23,6	0,4	1,88%
Pakistán, Punjab	402	340	429	90	20,90%	25	24,7	25,3	0,5	2,11%
Filipinas, San Marino	2411	2457	2461	3	0,12%	25	24,5	25,0	0,5	1,81%
Tailandia, Kuchinari	1540	1541	1600	59	3,68%	26	26,0	26,6	0,6	2,10%
Vietnam, Delta del Mekong	1948	1952	1981	29	1,45%	28	27,5	28,0	0,5	1,93%
Oriente Medio y África										
Egipto, Izalco	12	13	12	0	-4,13%	25	24,9	25,9	1,1	4,11%
Etiopía, East Wollega	1477	1791	1375	-416	-30,22%	19	18,1	19,4	1,3	6,52%
Kenia, Nyanza	1387	1475	1356	-119	-8,74%	17	16,4	17,7	1,3	7,40%
Mauricio, Port Louis	1925	1893	1894	1	0,04%	23	22,2	23,1	0,9	4,03%
Mozambique, Chemba	976	988	969	-19	-1,93%	20	19,7	20,3	0,6	2,93%
Sudáfrica, Sezela	1037	1019	1015	-4	-0,44%	19	19,1	19,6	0,4	2,28%
Suazilandia, Big Bent	840	742	857	116	13,50%	20	19,9	20,7	0,7	3,57%
Tanzania, Morogoro	905	953	910	-43	-4,76%	24	23,7	24,3	0,6	2,50%
Zambia, Nakumbala	794	815	848	34	3,96%	22	21,2	22,2	1,1	4,75%
Zimbabue, Chiredzi	817	769	807	38	4,73%	20	19,7	20,3	0,6	2,93%
Oceanía										
Australia, Ingham	1793	1617	1779	162	9,10%	24	23,5	24,0	0,5	1,89%

Organización Internacional del Azúcar

PRECIOS DE PUBLICACIONES PARA 2013

Seminarios: (sólo en inglés)

2012: Sugar Crops - Unleashing Growth Potential (Online) **£370**

2011: Competitive Edge in Sugar – the Road to 2020 (Online) **£150**

2010: Crunch time goodbye - Sugar and Bioenergy fllying high (Online) **£150**

Talleres:

2012: India - Key Player in the World Sugar Economy (en ligne) **£275**

2011: Sugar Industry Potential in Africa (Online) **£70**

2010: The African Sugar Economy: Stock Taking & Potential Development Por CD/Online **£70**

Especiales:

2009: Conferencia Internacional, OIA/Egipto "World Perspectives for Sugar Crops as Food and Energy" (Por CD/ online) **£170**

2008: Compendio de los derivados de la caña de azúcar (ICIDCA) - sólo CD-ROM en español **£175**

Estudios de la OIA:

Perspectivas para la industria mundial del bioetanol hasta 2020 (MECAS(12)19)* **£280**

Perspectivas para el azúcar en la región de Oriente Medio y Norte de Africa (MECAS(12)18)* **£280**

Inversión externa directa y fusiones y adquisiciones en la industria mundial del azúcar (MECAS(12)17)* **£280**

Evolución y principales determinantes del mercado del azúcar en los países de la Unión Aduanera de la CEI (MECAS(12)06)* **£280**

Perspectivas de producción de azúcar y de etanol en Brasil (MECAS(12)05)* **£280**

Edulcorantes alternativos en un contexto de altos precios del azúcar (MECAS(12)04)* **£280**

Encuesta internacional sobre rendimientos y precios de las cosechas azucareras (MECAS(11)19*) **£250**

Costes de insumos en el cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera (MECAS(11)18*) **£250**

Perspectivas para el azúcar y el bioetanol de Tailandia (MECAS(11)17*) **£250**

Sudamérica (excepto Brasil): Perspectivas para el azúcar y el etanol (MECAS(11)07*) **£250**

Políticas comerciales gubernamentales para el azúcar en un nuevo entorno de mercado: Estudio (MECAS(11)06*) **£250**

Nichos de mercado para el azúcar (MECAS(11)05*) **£250**

Precios del etanol y sus determinantes: Estudio mundial (MECAS(10)19*) **£205**

Consumo industrial y directo de azúcar: Estudio internacional (MECAS(10)18*) **£205**

Demanda mundial de azúcar: Perspectivas hasta 2020 (MECAS(10)17*) **£205**

Perspectivas para el azúcar y el etanol de Centroamérica/Caribe (MECAS(10)07*) **£205**

Comercio mundial de azúcar refinado y sin refinar: Tendencias recientes y perspectivas(MECAS(10)06)* **£205**

Remolacha y caña transgénicas: Perspectivas en un nuevo entorno comercial (MECAS(10)05))* **£205**

Comercio físico internacional de azúcar: Estudio (MECAS(09)19)* **£205**

Precios nacionales del azúcar (MECAS(09)18)* **£205**

Publicaciones periódicas:

Perspectiva Trimestral de Mercado* **£350**
Análisis a medio plazo sobre la evolución del mercado del azúcar, del etanol y de los edulcorantes.

Boletín Estadístico Mensual* **£250**
Con la última hora de la situación mundial del azúcar

Informe Mensual de Mercado y Resumen de Prensa* **£225**
Informe sobre el mercado del azúcar y del etanol del mes anterior

Anuario del Azúcar 2012* **£245**
Tapas duras, 400 páginas, tablas de 150 países con completos datos de producción, consumo, comercio y stocks (series de 7-8 años)

Anuario del Etanol* **£180**
Exhaustivas estadísticas sobre bioetanol

Balance Mundial del Azúcar* **£230**
Previsiones actuales y datos históricos (series de 7 años) sobre producción, consumo, importaciones y exportaciones

* **TAMBIÉN DISPONIBLE POR CORREO ELECTRÓNICO**

International Sugar Organization
1 Canada Square, Canary Wharf, London E14 5AA
Tel: +44 20 7513 1144 **Fax: +44 20 7513 1146** **Email: publications@isosugar.org** **Web: www.isosugar.org**