

## IMPORTANCIA DE LOS BOLETINES AGROCLIMÁTICOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO<sup>1</sup>.

Por Juan Carlos Gómez Rojas<sup>2</sup>

El Panel Intergubernamental de Experto sobre el Cambio Climático ha recomendado a los gobiernos del mundo tomar medidas de adaptación y mitigación ante el calentamiento global a la par que, realizar estudios sobre la fenología de sus cultivos (ver fig. 1. Calentamiento global), en nuestra experiencia hemos visto la importancia que el *Boletín Agroclimático (mensual) para el sur de la Ciudad de México*, que se publica de manera digital, puede representar en el monitoreo del calentamiento global y la variabilidad climática respecto al comportamiento fenológico de los cultivos; su elaboración, desde hace diez años, nos ha permitido apreciar ambos fenómenos, en lo particular la tendencia de la temperatura, a lo largo de los últimos 55 años en que lleva de funcionamiento el Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM y, de manera directa en los últimos 30 años, en mi caso, por las prácticas agroclimáticas y fenológicas que realizamos en el Huerto fenológico del Colegio de Geografía, de la UNAM, dentro de la asignatura de Agroclimatología.

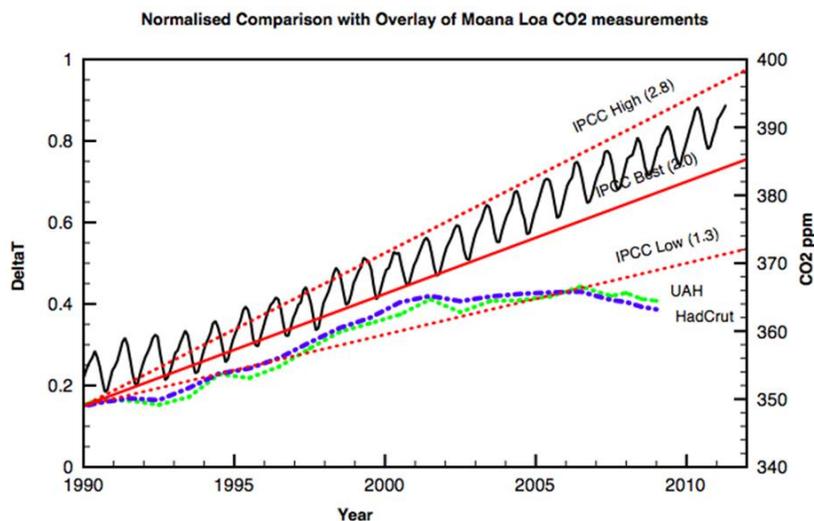
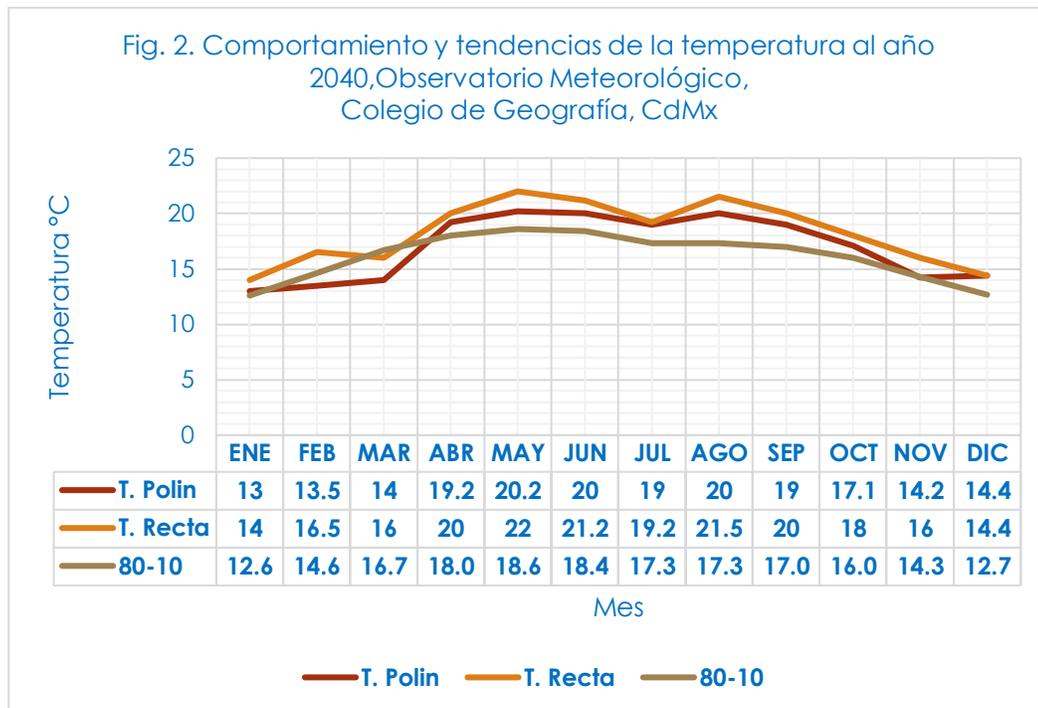


Fig. 1. Incremento del CO2 entre 1990 y 2020 e incremento del calentamiento global según el IPCC: bajo, medio y alto.

<sup>1</sup> Ponencia presentada en el XXIII Congreso Nacional de Geografía, Cozumel, Q. Roo, 29-31 de octubre de 2018.

<sup>2</sup> Profesor Titular "C" de Tiempo Completo del Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

De tal suerte, que, nos es posible indicar, como se presenta la situación meteorológica para la agricultura, así, los campesinos y agricultores de la región pueden ponderar tanto las medidas inmediatas por variabilidad climática, de año con año, como la presencia de sequía, el exceso de lluvias, presencia de ENSO (positivo o negativo); y el propio cambio climático, así a lo largo de los doce boletines agroclimáticos del año pasado proyectamos, para cada mes, estadísticamente y con buen margen de confiabilidad cuáles serán las temperaturas hasta el año 2040 (Ver gráfica inferior).



Ahora bien, para poder publicar un boletín agroclimático es necesario, contar con un Huerto fenológico agrícola el cual, por definición, es un espacio que cuenta con un observatorio meteorológico, dedicado a la observación de cultivos perennes, bianuales, anuales o de ciclo corto con el fin de identificar su grado de adaptabilidad al clima de una región. Para ello, es necesario aplicar los tres principios del método agroclimático que nos indican que para poder realizar una adecuada investigación es necesario: *1. Contar con observaciones meteorológicas, 2. Contar con observaciones fenológicas, y 3. Correlacionar ambos tipos de observaciones, habiendo obtenido los indicadores e índices agroclimáticos por etapas y fases fenológicas con el fin de establecer las condiciones de adaptabilidad del cultivo.* En consecuencia, conocidas las condiciones climático-meteorológicas que requiere un cultivo determinado, es posible establecer analogías en tiempo y espacio que nos permiten ubicar otras regiones y calendarios agrícolas en que dicho cultivo también puede tener éxito, por ejemplo, las variedades de trigo de ciclo primavera-verano del sur de

Canadá que se siembran en el ciclo otoño-invierno en el noroeste de México, o más recientemente el cultivo de berries de Chile en los estados de Jalisco, Michoacán y Guanajuato. Se puede decir que la Agroclimatología es el estudio de las relaciones clima-planta en el espacio y la Fenología es el estudio de las relaciones clima-planta en el tiempo.



Fig. 3. El Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM cuenta con un Archivo meteorológico de observaciones diarias a lo largo de 55 años, considerado Patrimonio Científico Inalienable de la UNAM.

El Huerto Fenológico, fundado en 1985, con el fin precisamente de que los estudiantes de la carrera de Geografía pudieran realizar labores agrícolas con base en los principios arriba señalados, a la par que realizar investigación y difundir nuestra labor fuera de la UNAM, esto a través de la creación de nuestro portal WEB [www.huertofenologico.filos.unam.mx](http://www.huertofenologico.filos.unam.mx) que nos ha permitido establecer comunicación con estudiantes e investigadores particularmente de los países de habla hispana.



Fig. 4. Huerto fenológico del Colegio de Geografía, espacio para las prácticas académicas agroclimáticas y fenológicas con información de tres décadas.

Para llevar a cabo las observaciones fenológicas y agroclimáticas diseñamos dos formatos, uno para anotar la información fenológica (anexadas al final del artículo) por etapa o fase en que se halla un cultivo, labores agrícolas realizadas, presencia de plagas y, otro formato para anotar los indicadores e índices propios de la agroclimatología (unidades calor o grados-día, fotoperiodo, unidades fototérmicas, precipitación, evapotranspiración potencial, horas-frío y otro tipo de observaciones clima-cultivo, por lo que hoy en día, contamos con un banco de información fenológica y agroclimática bastante amplia, y tenerla a disposición de todo público.

De esta manera, en labor conjunta estudiantes y profesores del curso de Agroclimatología, hemos realizado un sinnúmero de experimentos e investigaciones, algunas de las cuales han derivado en nuevos métodos agroclimático como el cálculo de horas-frío, de pronóstico de helada, e incluso una *Fórmula del incremento de la temperatura debido a la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), en base al número  $\varphi$  y la Sucesión de Fibonacci*, elaborada por el Geog. Tomás Fernández Ábrica, estudiante del Posgrado en Geografía, verdadera proeza científica, dado que ha sido a través de los complejos Modelos de Circulación General (GCM) como se ha pronosticado la magnitud del calentamiento global. Todas estas investigaciones difundidas también en el portal web del Huerto en su *sección de Artículos y libros científicos*.

Ahora bien, ¿Por qué es importante determinar la fenología de los cultivos ante el cambio climático? Como lo aconseja el IPCC, en principio, porque el clima es el principal factor físico que influye en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos; de tal manera que se define que ***una etapa fenológica es un periodo relativamente largo de tiempo en que se desarrolla un órgano del cultivo (floración, fructificación u otro) y en que las condiciones climático-meteorológicas son relativamente homogéneas, por lo que cada etapa fenológica tiene sus características climáticas propias.***

Mientras que ***una fase fenológica es un periodo corto de tiempo en que se pasa de una etapa fenológica a otra y en el cual las condiciones climático-meteorológicas cambian de modo relativamente brusco.***

A partir de estas definiciones es que podemos dimensionar la recomendación del IPCC, pues para que un cultivo crezca y se desarrolle con éxito, debe existir un acoplamiento entre el clima y la fisiología de la planta el cual se puede dar bajo ciertos rangos de variabilidad climática; sin embargo, bajo las condiciones del calentamiento global, que conllevan hacia un cambio climático, dicho acoplamiento o adaptación se desarticula.

Ahora bien, respecto a las observaciones de cambio climático se ha apreciado, por ejemplo, la disminución de horas frío que obliga a los fruticultores, pensar en otras especies o variedades a corto y mediano plazo, al pasar de 650 H-F hacia la década de los sesenta, a 400 en estos últimos años (en este último invierno -2017-2018- sólo se presentaron 349, ver fig. 5), por lo que, en los durazneros que hemos cultivado a lo largo de 30 años,

observamos que la floración se ha ido adelantando, de mediados de febrero, en que se iniciaba hace 30 años y donde se lograba una plena maduración y consecuente cosecha, para hoy en día, en que a mediados de enero se muestra la floración, y que si bien cuaja el fruto pero no logra seguir su buen desarrollo. Cabe hacer mención que nuestra observación coincide con la reportada en otras latitudes. Dicha anomalía se explica, de manera hipotética, en la figura 6.

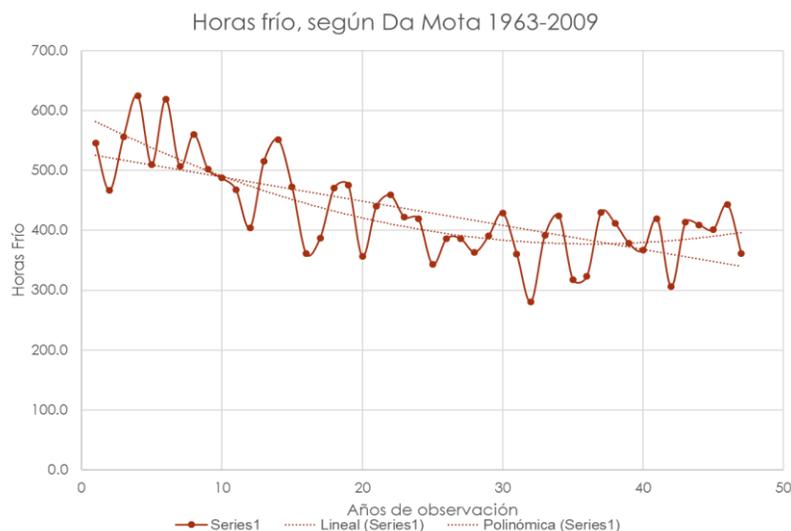


Fig. 5. Disminución de las Horas-frío observadas en el Observatorio meteorológico Del Colegio de Geografía

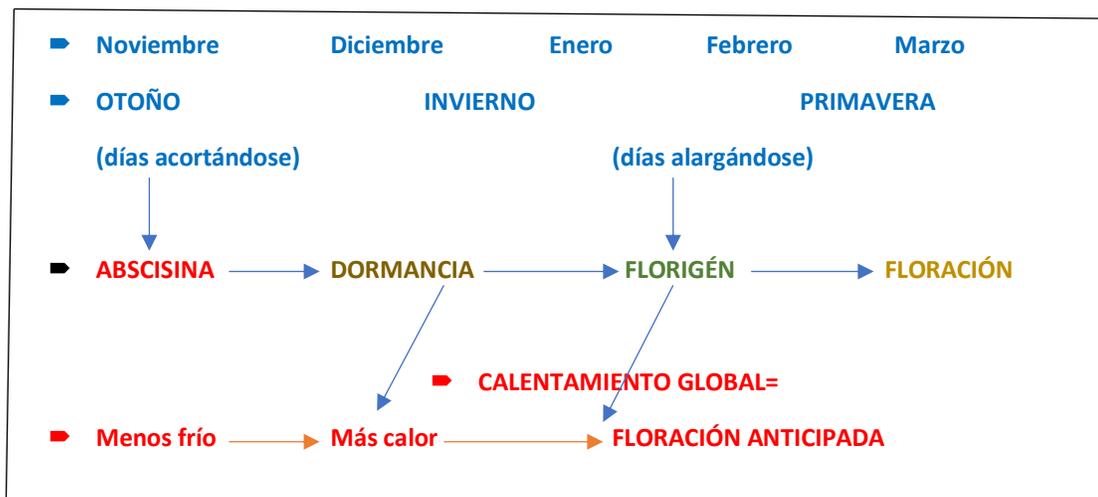


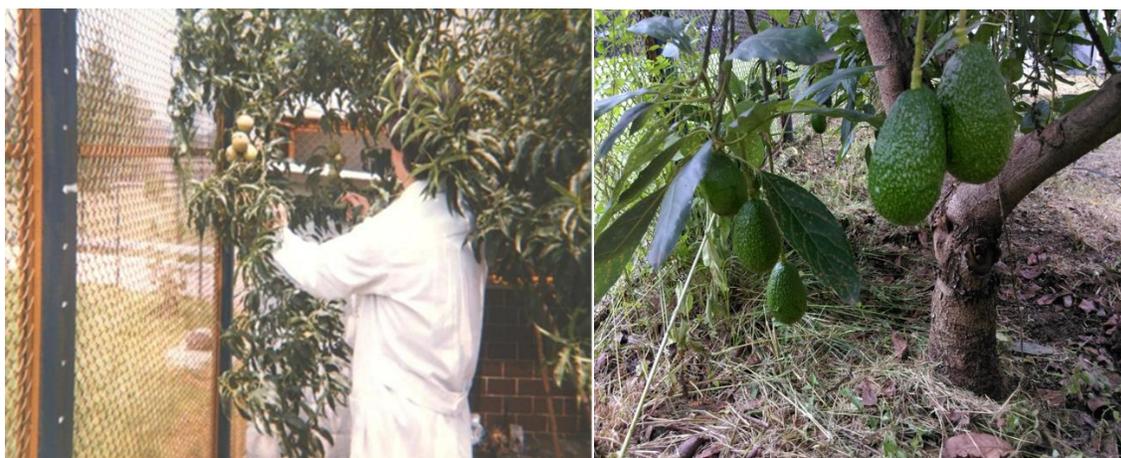
Fig. 6. Diagrama explicativo de la interacción temperatura-hormonas de dormancia y floración, y floración temprana por calentamiento global.

Caso similar observamos con otros frutales criófilos, como el tejocote y ciruelo puestos en un solo portainjerto, si bien sembrados hace unos 15 años en que se llegó a

tener una regular cosecha de tejocotes, que ha ido disminuyendo hasta hoy en día; en el caso del ciruelo no hubo ningún resultado positivo.

Por lo que al ver la desadaptación de frutales criófilos, nos dimos a la tarea de sembrar frutales de clima templado-semicálido C(A)wbig, que no requieren de horas-frío y en su ciclo vegetativo no deben presentarse heladas, así que hemos sembrado aguacate Hass y criollo, en el primer caso, este año la floración tuvo éxito y se cosecharon los primeros aguacates, por lo que ahora estamos procediendo a sembrar higuera, que por su analogía con el aguacate Hass seguramente nos dará un buen resultado.

En nuestros boletines hemos dado cuenta de estos eventos y señalado opciones que pueden tomar los campesinos o agricultores de las zonas agrícolas del sur de la Ciudad de México, como lo son parte de las hoy alcaldías de Magdalena-Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac e incluso los municipios del Estado de México ubicados al oriente.



Figs. 7 y 8. En la década de los 90 todavía se tenían buenas cosechas de durazno (imagen izquierda), y hoy en día se da mejor el cultivo de aguacate en el sur de la Ciudad de México (imagen derecha).

Es obvio, que los cultivos perennes, son los más afectados por el cambio climático, por estar expuesto año tras año a las vicisitudes del clima; enseguida están los cereales, cuyo ciclo vegetativo es de varios meses y que según el caso se siembran en primavera-verano, u otoño-invierno. Por último, están las hortalizas que, por ser de ciclo vegetativo corto son las que menos expuestas están al calentamiento global.

En el caso del maíz que se siembra hacia el 15 de mayo, no sólo en el Huerto y la zona agrícola del sur de la CdMx, sino en buena parte del centro -templado- del país, hemos apreciado que su ciclo se va acortando, hace 30 años se cosechaba hacia mediados de noviembre y ahora suele ser hacia fines de octubre, en este caso, como su etapa fenológica final, de grano duro, requiere de menor precipitación, mayor ETP, e incluso elevación de temperatura, por lo que todavía conserva una buena adaptación o acoplamiento clima-fenología.

Sin embargo, en clase con nuestros estudiantes, hemos apreciado que para el año 2040, usando la tendencia polinómica el incremento de la temperatura será de 0.9 °C, por lo que la media anual se ubicará en los 17 °C. (ver figura 2), mientras que si usamos la ecuación de la recta como tendencia para el mismo año, el incremento aumenta en 2.1 °C, o sea, un valor 18.2 °C media anual, sin embargo, hay que decir que no se aconseja este último método para proyectar tendencias, por lo que, nos debemos quedar, por ahora, con la primera, que es más confiable estadísticamente hablando y porque con la información real de 55 años, tenemos un margen de proyección a 27 años, 2045.

Volviendo a la fenología del maíz bajo esa proyección polinómica, nos encontraremos con un nuevo escenario, ya que al haber más calor, las etapas fenológicas se acortan y, en consecuencia se acorta también el periodo de lluvia por etapa y, por lo tanto, las fases fenológicas se alteran considerablemente (ver figura 9), con lo que, bajo este nuevo escenario el maíz criollo de ciclo largo (188 días) tendrá que ser substituido por una variedad de ciclo corto, muy probablemente de 4 meses (120 días), para exponer en menor medida al cultivo ante el calentamiento global; aquí la investigación agronómica debe ir en sentido, de obtener variedades con dichas condiciones; mientras se puede ver si, las variedades criollas de ciclo largo, se pueden cultivar, ya sea, a mayor altitud o en latitudes superiores, aunque en este último caso nos parece poco probable su éxito.

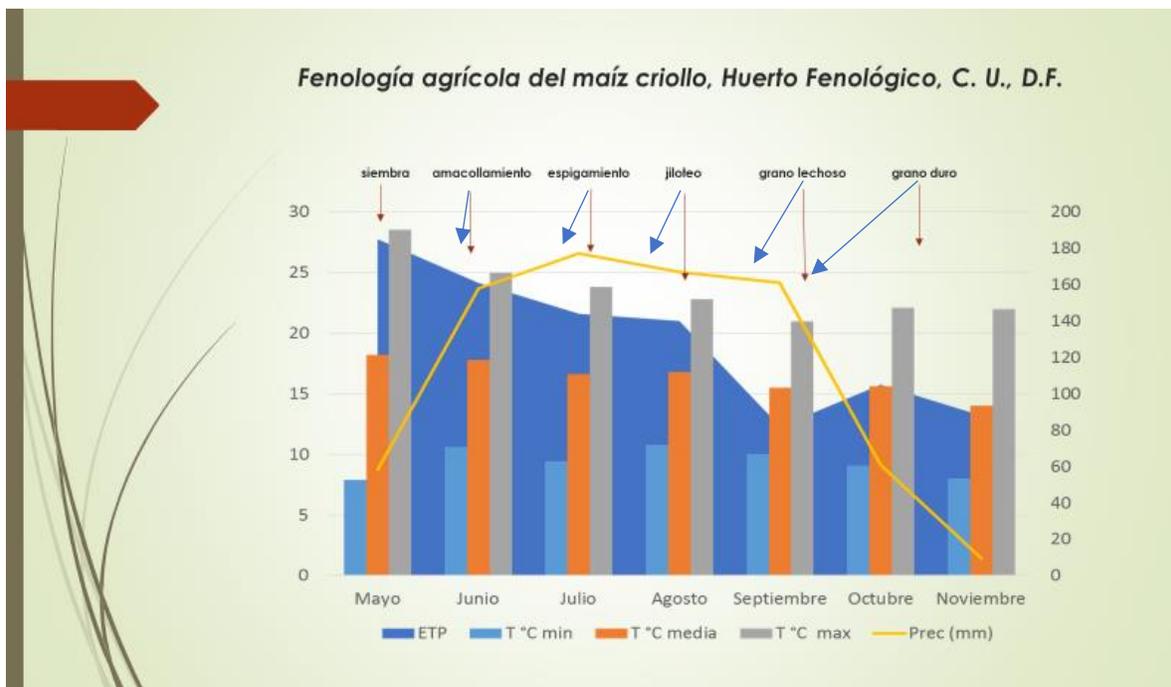


Fig. 9. Comportamiento fenológico y agroclimático del maíz entre 1985 y 2017 (flechas rojas), y corrimiento de las etapas y fases fenológicas por aumento de temperatura en 2040 (flechas azules)

En consecuencia, dado ese incremento de 0.9 °C, nos ubicamos entre los escenarios RCP2.6 del MCG Image de Holanda, y el A1B del Modelo GFDL (CM2.1) de la NOAA, el primero apunta a un incremento promedio de 1 °C, en un rango de 0.4 y 1.6 °C, entre 2046 y 2065, y es el menos amenazante en cuanto a forzamiento radiativo (3Wm<sub>2</sub>), pico en 490ppm de CO<sub>2</sub> antes del 2100 (hoy en día en la Ciudad Universitaria el CO<sub>2</sub> se ubica en 440ppm), mientras que el segundo, para la década de los cincuenta, de este siglo XXI, da un incremento de temperatura de 0.55 °C (1 °F) por década, ligeramente superior al 0.45 obtenido por nosotros (ver cuadro inferior).

Cuadro de escenarios climáticos

Escenario	Forzamiento radiativo	Concentración De CO2 (ppm)	Aumento de temperatura °C 2046-2065		Aumento de temperatura °C 2081-2100		Trayectoria	Modelo que Provee el RCP
			Prom	Rango	Prom	Rango		
-----	-----	-----					-----	-----
RCP 8.5	8.5 W/m <sup>-2</sup> En 2100	1,370	2	1.4 a 2.6	3.7	2.6 a 4.8	Aumentando	MESSAGE (Austria)
RCP 6.0	6 W/m <sup>-2</sup> Estable después de 2100	850 Estable después De 2100	1.3	0.8 a 1.8	2.2	1.4 a 3.1	Estable sin Pararse	AIM (Japón)
RCP 4.5	4.5 W/m <sup>-2</sup> Estable Después de 2100	650 Estable después De 2100	1.4	0.9 a 2.0	1.8	1.1 a 2.6	Estable sin pararse	GCAM (EUA)
RCP 2.6	Pico de 3 W/m <sup>-2</sup> antes del 2100 y disminuye después	Pico en 490 antes de 2100 y disminuye después	1	0.4 a 1.6	1	0.3 a 1.7	Aumenta y posteriormente disminuye	IMAGE (Países Bajos)

Compiló: Juan Carlos Gómez Rojas

Dado que la Ciudad de México, representa una enorme extensión urbana y una fuente muy grande de emisiones de gases de efecto invernadero, ese incremento, esperado hacia el año 2040, debe ser superior al del resto del país y sobre todo para las regiones rurales, quizá a excepción de la región noroeste del México (ver fig. 10.), en que los Modelos de Circulación General señalan un calentamiento mayor; en consecuencia, consideramos que los escenarios RCP 2.6 del modelo IMAGE y A1B del modelo GFDL (CM2.1) de la NOAA son los más confiable de utilizar en las investigaciones nacionales de calentamiento global, por lo menos de aquí a para mediados del siglo.

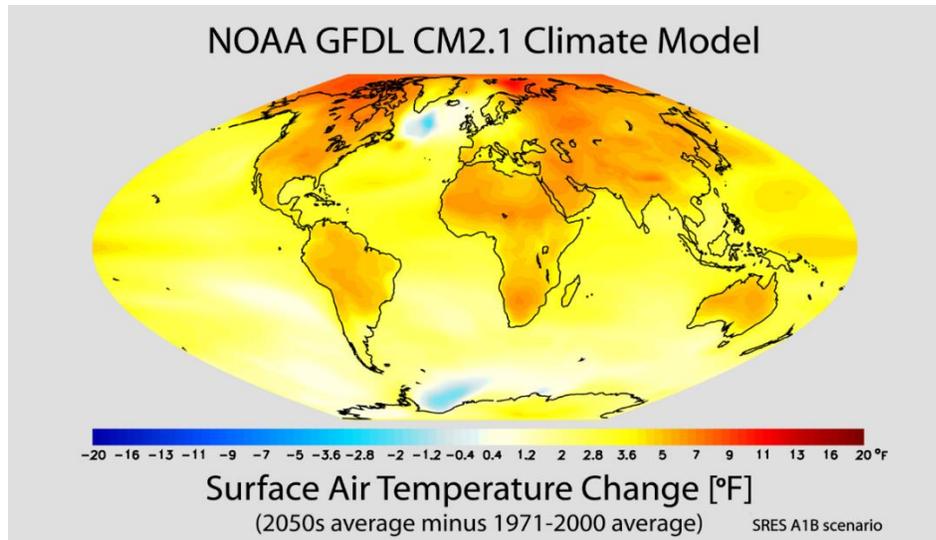


Fig. 10. Modelo climático CM2.1 GFDL de la NOAA, a partir de las normales 1971-2000 proyectado al año 2050 (en grados Fahrenheit), dicho modelo ha sido uno de los utilizados para México

En el *Atlas Agroclimático de la República Mexicana* (ver fig. 11. Mapa de Cambio climático en México), por mi coordinado, incluimos un posible escenario de cambio climático para el país, con un aumento de temperatura de 2 °C y un muy probable incremento de precipitación de 30%, lo que nos da una obvia reducción de climas templados, y un aumento en la superficie de climas secos y tropicales, este posible escenario entraría como RCP 4.5, en un rango de 0.9 a 2 °C, y consideramos que se podría presentar hacia el año 2060. Como geógrafos versados en la Cartografía bien podemos elaborar este tipo de probables escenarios a partir de los mapas de isotermas e isoyetas.

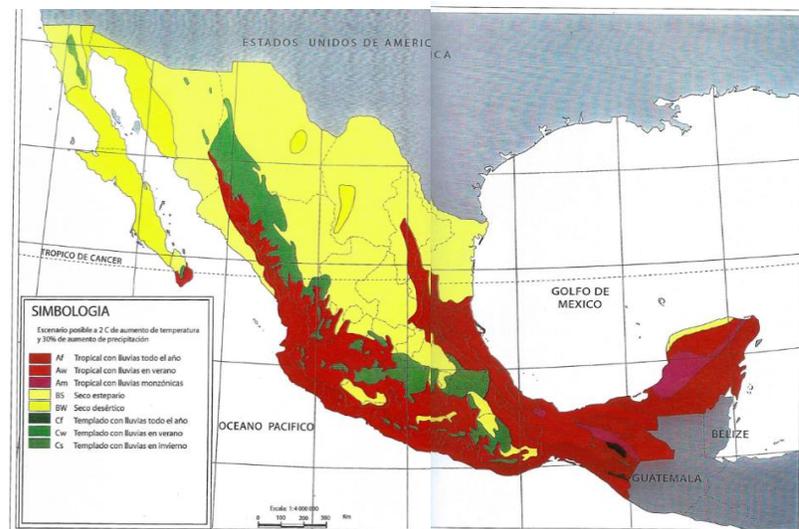


Fig. 11. Mapa de climas de México bajo un escenario de 2°C de aumento de temperatura y 30 % más de precipitación.

Por último, la existencia de Huertos fenológicos, con su Observatorio meteorológico adjunto, a lo largo y ancho del territorio nacional es apremiante, así como la difusión, a través de boletines agroclimáticos y/o agrometeorológicos, los primeros en cuanto tienen una visión más espacial y de mediano y largo plazo, mientras los segundos alertan en corto plazo y de manera más puntual, ambos los reclaman muchos agricultores del país (nos consta).

En las universidades donde existe la carrera de Geografía, bien se podrían establecer Huerto fenológicos; el INIFAP, desde la década de los ochenta comenzó a instalar en sus más de 50 campos agrícolas experimentales estaciones meteorológicas, a la par que a formar especialistas en Agroclimatología, dos para cada uno de esos campos (en ese tiempo pudimos recomendar a jóvenes geógrafos para esa labor) por lo que bien podría, dicho Instituto emprender una amplia labor dando a conocer sus resultados en materia de fenología y calentamiento global.

Por otra parte, el Servicio Meteorológico Nacional, debería, en cada una de sus más de cinco mil estaciones meteorológicas anotar, al reverso de la hoja de registro meteorológico, el estado (fenológico) que guardan los cultivos en su zona de influencia pues así lo indica el propio formato, cosa que no se hace; por su parte la Organización Meteorológica Mundial ha recomendado y llamado la atención a dicho Servicio para que emita un reporte agroclimático nacional, tal como lo hacen sus pares en muchos países de América Latina; esta situación pone al país vulnerable ante el cambio climático, particularmente en el caso de la producción de alimentos, el geógrafo bien preparado, tanto en el conocimiento del medio natural como en el social, puede y debe jugar un papel importante en el futuro del país, hay líneas de docencia y de investigación prioritarias como el caso de la Agroclimatología, por lo que hay que pasar a un segundo término investigaciones banales dentro de nuestra disciplina, ojalá las futuras generaciones de geógrafos logren darle a ésta el lugar que merece.