

## "Agroclimatología: Los grandes desafíos de la agronomía frente al clima cambiante"

Fernando Santibáñez

Los cambios que sufrirá el escenario climático mundial serán uno de los grandes desafíos que la agronomía enfrentará en este siglo. Los cambios permanentes que podría sufrir el clima de las diferentes regiones del mundo, exigirán una readecuación tanto del uso del suelo como de los sistemas de cultivo, que tiendan a mantener la productividad de estos, en unas condiciones atmosféricas más adversas e inestables. Recién al fin del siglo XX la humanidad vino a percibir que la creciente actividad económica ha ido presionando al planeta, al punto de que se están produciendo cambios permanentes en los océanos, la atmosfera y los sistemas terrestres. Algunos de estos cambios son irreversibles en la escala humana como lo es la desaparición de especies, de los glaciares, la degradación de la tierra. Las casi 30.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> que anualmente la humanidad inyecta a la atmosfera (cerca de 1 millón de toneladas por segundo), provocarán un cambio conductual de los climas por los próximos 200 años, aun cuando se eliminaran las fuentes emisoras actuales de CO<sub>2</sub>. El progreso de la ciencia atmosférica nos permite tener niveles muy altos de certeza en que esto producirá un calentamiento global de la Tierra desde los 15°C que ha sido su promedio durante los últimos miles de años, hasta cerca de 18°C dentro de este siglo. De esta alza de temperatura ya se ha producido una equivalente a 0,6°C en los últimos 60 años, proceso que se ha ido acelerando hasta una tasa actual de 0.2°C por década. En el último informe del IPCC en 2007, los científicos de la atmosfera concluyen que las pruebas de que este calentamiento es consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero emitidos por la humanidad, son inequívocas, por cuanto estas velocidades de cambio (2 a 3°C por siglo), no son propias de procesos naturales, los que en la historia del planeta han tomado miles de años cuando se han producido. Es cierto, La Tierra ha conocido periodos igualmente cálidos en el pasado. En la época de los dinosaurios el planeta exhibía una temperatura media cercana a los 20°C. Consecuentemente, el clima de aquella etapa era extraordinariamente inestable y agresivo, con grandes tormentas, viento y sequías. Fue una época de grandes transformaciones en las geoformas, producto de avalanchas y transporte eólico. Si para los dinosaurios esto no representaba grandes amenazas, para una humanidad que pasará de 6500 a cerca de 10000 millones de habitantes en este siglo, con grandes ciudades, infraestructura, comunicaciones, extensas zonas agrícolas, esto podría ser francamente un elemento difícil de remontar y de elevados costos para el desarrollo humano, de los ecosistemas y de las economías. Frente a estas evidencias hay dos actitudes, la incredulidad, que resulta más cómoda pero nos lleva a la inacción, o la sincera preocupación, originada en nuestra conciencia ética de que no podemos dejar a las generaciones que vienen este legado que las pondrá seriamente en riesgo. En lo personal, prefiero la segunda postura, aun a riesgo de una equivocación, el error es preferible a la ausencia de compromiso con las generaciones que nos sucederán.

Indudablemente los cambios en el ambiente físico terrestre forzarán a los sistemas biológicos del planeta a una adaptación que podría tener alto costo para la vida. Las especies que no lo consigan, desaparecerán, como ha ocurrido a través de la historia del planeta. Aquellas que lo consigan, lo harán desarrollando estrategias de adaptación que podrían reconfigurar los ecosistemas actuales. Solo pensar en esto ya es algo complejo por cuanto surgen preguntas como: ¿Cuál será el destino del bosque valdiviano, de los ecosistemas patagónicos, del diezmado bosque esclerófilo? ¿Cuáles podrían ser los problemas a que se enfrentará la producción de alimentos en distintas zonas del mundo?.

Una humanidad que necesita seguir habitando el planeta, necesita seguir obteniendo recursos económicos, bienes y servicios desde territorios donde la población se ha adaptado a sus condiciones físicas y al mundo viviente que los caracteriza. Un cambio de contexto puede provocar grandes costos sociales y económicos.

Para formarse una idea de lo que puede representar esto, digamos que 2°C en el promedio anual, es la diferencia que existe entre el clima de Santiago y Antofagasta.

La agricultura es causa y consecuencia de los cambios climáticos, esta actividad es responsable por el 14% a 15% del problema mundial, el resto se debe a la industria, al transporte, a la minería y a las ciudades. Las emisiones agrícolas vienen mayormente de la fabricación de insumos, del combustible usado por la maquinaria y de las emisiones de metano y N<sub>2</sub>O desde los terrenos cultivados. El carbono tiene un peso atómico de 12 y ese carbono al combinarse con el oxígeno genera una molécula de peso 44, o sea cuando la materia orgánica es oxidada lo que se libera es carbono pero que al combinarse durante la combustión el peso del CO<sub>2</sub> resultante multiplica por 3 1/2 a la masa de carbono inicial. El CO<sub>2</sub> atmosférico está creciendo a razón de 2 partes por millón por año, es decir, en los próximos 50 años perfectamente podrá subir hasta las 500 partes por millón, mas el aumento de los otros gases de efecto invernadero. Esto, sin suponer una aceleración del crecimiento económico mundial.

Una alza de 2°C en la temperatura podría provocar una subida de la línea de las nieves a lo largo de toda la cordillera de Los Andes, aumentando el escurrimiento invernal de los ríos, en perjuicio de la capacidad de esta para retener y conservar esta agua hasta el verano. Esto se agravará con la reducción acelerada que están sufriendo los glaciares y con la disminución que en ciertas latitudes sufrirá la lluvia anual, cual es el caso de la zona central de Chile. El efecto del calentamiento se hará sentir con más fuerza en el hemisferio norte que en el sur. Chile tiene una situación única en el planeta, cual es el reforzamiento que podría sufrir la corriente de Humboldt, producto del aumento de la velocidad del viento sobre el océano. Esto refrescará a las masas de aire que pasan por las aguas frías del océano antes de ingresar al continente, provocando un ligero descenso en las temperaturas máximas, fenómeno que ya se ha venido observando en las últimas décadas. Esto atenuará grandemente el efecto del calentamiento global en nuestro territorio, al menos en una franja costera de varias decenas de kilómetros. Esto podría representar una ganancia de ventajas competitivas en un mundo que se verá agobiado por el calentamiento atmosférico.

La quema de bosques no solo es un importante factor de emisión sino también reducimos con ello la capacidad de absorción de gases de efecto invernadero por parte de ellos. Análogamente el deterioro del plancton marino está reduciendo la capacidad de los océanos de absorber CO<sub>2</sub>. Es necesario tener presente que por cada 3 moléculas de CO<sub>2</sub> emitidas, una la absorbe algún bosque de la tierra, otra la absorbe algún océano, la otra queda residente definitivamente en la atmosfera. Estas capacidades de regulación naturales se han ido reduciendo como consecuencia de la degradación de los océanos y de los bosques del planeta.

Cuan amenazante puedan resultar estos cambios globales para los climas chilenos es una pregunta que vale la pena plantearse. Lo primero que es necesario reconocer es que la fisonomía de los climas de Chile ya ha cambiado durante los últimos 100 años. La precipitación a disminuido en gran parte del territorio, el numero de lluvias ha hecho lo mismo, las temperaturas mínimas han subido y las máximas han bajado en la costa. En zonas interiores mínimas y máximas han subido por igual.

La agricultura será profundamente afectada por el alza en las temperaturas. Esta alza traerá mayores riesgos biológicos, por cuanto podrían haber más generaciones de insectos cada año, como lo señalaba el profesor González, mayores niveles de estrés térmico, lo que haría caer el rendimiento fotosintético de los cultivos, aumento de la variabilidad y la incertidumbre, aumento de los requerimientos de agua, cambios en las fechas de siembra. Todo esto podría conducir a un rediseño de las regiones agrícolas de Chile, el que podría incluir la migración de ciertas especies hacia regiones del sur o hacia la costa, cambios tecnológicos como sistemas de riego de alta eficiencia, sistemas de reducción del estrés, variedades genéticamente modificadas para aumentar su tolerancia al estrés, agriculturización de regiones que en la actualidad tienen baja intensidad de

uso del suelo. En la zona central es altamente probable que las fechas de siembra de los cultivos de primavera se desplacen hacia algo más hacia la estación más fresca de modo de escapar al periodo más cálido del año. En los climas más benignos de la costa, incluso podrían desplazarse hasta el otoño, aprovechando por completo la época fresca invernal escapando al estrés térmico de verano y a la mayor incidencia de plagas durante ese mismo periodo.

En la medida que el agua y la energía se tornen recursos cada vez más escasos, habrá un cambio desde el actual paradigma agronómico de la maximización de la producción por unidad de superficie cultivada, hacia la maximización de la producción por unidad de agua o energía utilizada.

Aparte de los cambios en la estrategia de producción que serán necesarios para enfrentar el alza en la temperatura, la agricultura está enfrentando exigencias de desempeño ambiental crecientes. Es un imperativo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de agua en la cadena de producción. Los sistemas de certificación de la huella de carbono y del agua entrarán en vigor, al menos en el comercio internacional, antes de un par de décadas. Los países exportadores de alimentos como Chile no pueden perder tiempo esperando que estos requisitos se hagan exigibles, deben urgentemente comenzar a trabajar en la adecuación de las cadenas productivas al cumplimiento de los estándares que vienen.

En un proceso de adaptación al cambio climático se hará necesario intensificar la investigación en gestión de recursos hídricos, manejo de canopias y sistemas de conducción que aseguren la calidad de los frutos, polinizantes, sistemas biológicos integrados de control de plagas y enfermedades, mejores sistemas de monitoreo y alerta climático, sistemas de cultivo de bajo impacto ambiental, genotipos resistentes a estrés y amenazas biológicas, tecnologías de transformación de la celulosa en bioproductos. Grandes tareas esperan en la modernización de la gestión de la producción agropecuaria. En las universidades se enseña la agronomía de lo determinístico, en esta agronomía frente a cada causa hay un solo efecto, ignorando la base biológica de esta actividad, que es esencialmente estocástica tanto en sus bases biológicas como en las variables que integran la gestión de los sistemas. En el futuro los profesionales requerirán de una formación más fuerte en esta dirección.

Los desafíos de continuar produciendo alimentos en un mundo cada vez más complejo caracterizado por lo global, lo cambiante y cada vez más escaso en recursos, son de tal magnitud, que la agronomía va a tener que revisar muchos de sus paradigmas que sirvieron por décadas, pero que necesitarán importantes cambios en las difíciles décadas que vienen.