

## MITOS Y VERDADES ACERCA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA

Marcos Andrade

*Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física  
Universidad Mayor de San Andrés*

### RESUMEN

Los recientes desastres naturales han llamado la atención de los medios de comunicación hacia los posibles efectos del cambio climático en Bolivia. Muchos de los desastres fueron atribuidos al calentamiento global, a El Niño o al agujero de ozono, entre otros. El presente artículo trata de identificar la posible relación de los desastres naturales observados o predichos con estos fenómenos así como aclarar, cuando así sea pertinente, algunos conceptos para evitar confusiones e interpretaciones erróneas. En este sentido se toman diez aseveraciones relativamente comunes y se las analiza en términos de su consistencia científica para tratar de separar mitos y verdades del cambio climático en Bolivia.

*Descriptores: meteorología — física de la atmósfera — calentamiento global — agujero de ozono*

### ABSTRACT

Due to the recent natural disasters Bolivian media have paid attention to the possible effects of climate change in Bolivia. Many of those disasters have been linked to global warming, El Niño, or the ozone hole among others. The aim of this paper is to identify the possible relationship between the observed or predicted natural disasters with those phenomena as well as to clarify, when appropriate, some key concepts in order to avoid confusion or erroneous interpretations. In these sense, ten common statements related to the possible effects of climate change in Bolivia are examined in terms of their scientific consistency in order to separate myth from truth.

*Key words: meteorology — atmosphere physics — global warming — ozone hole*

### 1. INTRODUCCIÓN

Debido a los recientes desastres naturales y a una rápida difusión de las consecuencias de los mismos, el tema de los cambios climáticos globales se ha tornado un tema de moda en los distintos medios de prensa. Por este motivo se escriben y dicen cosas que a veces son confusas, no tienen sustento científico o simplemente están erradas.

El presente artículo pretende puntualizar algunos aspectos relacionados con la problemática del cambio climático en Bolivia, tratando de mostrar algunos hechos que a veces se interpretan erróneamente o afirmaciones que son, cuando menos, cuestionables. Algunas de estas ideas se manifestaron a través de entrevistas de prensa, radio y televisión, en tanto que otras fueron recogidas de conversa-

ciones con gente de diferentes localidades del país, diversas condiciones económicas y diversos niveles de educación.

### 2. CAMBIOS CLIMÁTICOS

El clima, entendido como el “conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región” (Real Academia Española), es un sistema altamente no-lineal en el que la atmósfera, los océanos, tierra y seres que habitan los mismos interactúan de forma compleja. Aquí “no-lineal” significa que grandes cambios en algún componente del sistema pueden ocasionar cambios mínimos en el sistema global o, por el contrario (y más preocupante) pequeños cambios en ciertas partes componentes del sistema pueden ocasionar grandes cambios en todo

el sistema, que parece ser el caso del sistema que define el clima de la Tierra.

Para hablar de “cambios climáticos” se debe definir claramente qué es “comportamiento normal” en un sistema que de por sí sufre todo tipo de fluctuaciones debidas a fenómenos naturales internos (erupciones volcánicas, por ejemplo) y externos (variaciones en la cantidad de energía emitida por el Sol, por ejemplo). Para ello es necesario tener un registro de datos climáticos globales lo más extenso posible. Si bien hay algunas medidas de varios de estos parámetros de forma continua desde hace más de dos siglos, las mismas fueron tomadas en lugares puntuales, con preferencia en el hemisferio Norte y sobre la superficie terrestre. Por tanto, la densidad y calidad de datos globales variaron mucho en los últimos dos siglos. Medidas realmente globales recién pudieron ser realizadas con el advenimiento de satélites desde mediados de la década de los 70. Tres décadas de datos globales no son suficientes para entender a cabalidad variaciones más lentas en el clima de la Tierra, sin que esto signifique que como humanidad no conozcamos lo suficiente para establecer ciertas conclusiones. De hecho, a la fecha existen indicios muy fuertes que muestran que están ocurriendo cambios en el clima mundial.

Basados en mediciones de muchos años se sabe que, al menos en los últimos 100 años, y especialmente en los últimos 20-30 años, se ha observado un incremento de la temperatura media del planeta. Esto ha sido interpretado como un cambio climático global. Pero, ¿cuál es la causa de este hecho? ¿Serán estos cambios producto de variaciones naturales del clima? O, por el contrario, ¿serán producto de modificaciones a nuestro planeta debido a la actividad humana? ¿Es ésta una tendencia irreversible? El consenso actual en la comunidad científica es que los cambios que se observan y proyectan hacia futuro están ligados a la actividad humana, tal como es la liberación de carbono a la atmósfera. De hecho, en el último reporte del Panel Internacional en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se dice de manera clara que “el calentamiento es inequívoco y la mayor parte de él es muy probablemente (90%) debido al incremento de gases de efecto invernadero” [1]. Así, en el mundo científico existe una alta certeza que este cambio es real y que es producto de actividades antropogénicas. La discusión está centrada ahora en los posibles efectos que el clima del planeta pueda sufrir a cercano y mediano plazo, la posibilidad de

que dichos cambios sean irreversibles, y qué se puede hacer para aminorar los posibles efectos negativos de dicho cambio. Muchos de los “mitos” surgen de la complejidad del tema y a la falta de entendimiento que dichas proyecciones hacia futuro llevan asociadas una incertidumbre relacionada con el conocimiento del presente (de ninguna manera perfecto) y del modelo escogido para describir el sistema. Esto no quiere decir que los estudios que se hacen sean inservibles, solamente significa que debemos tener cuidado al “acusar” de todo lo que sucede al calentamiento global.

### 3. MITOS Y VERDADES

#### 3.1. *Eventos puntuales son una “prueba” del calentamiento global (mito)*

Es común que ante cualquier evento extremo tal como una inundación, sequía, etc. se atribuya el mismo al calentamiento global (claro que cuando ocurre algo como El Niño o La Niña, estos últimos son los “únicos culpables” de todo lo observado). Un evento que es utilizado como ejemplo de las consecuencias del cambio climático hasta por algunas reparticiones gubernamentales es la granizada que ocurrió en la ciudad de La Paz el 19 de febrero del 2002, que desafortunadamente cobró la vida de mucha gente. Ese día se dieron condiciones meteorológicas especiales para que en poco tiempo hubiera una intensa lluvia sobre la ciudad de La Paz, la cuál provocó que muchas calles se convirtieran, literalmente, en ríos. Pero, ¿puede afirmarse sin lugar a duda que dicha lluvia se debió al calentamiento global? No existe un estudio que muestre que fenómenos similares (lluvias intensas) no hayan ocurrido antes o que la frecuencia de los mismos hubiera aumentado. Por la naturaleza espacial muy localizada de las lluvias es difícil de realizar tal estudio, sea con instrumentos de tierra o a bordo de satélites. De hecho, la lluvia de marras, aunque fue la más intensa que se haya registrado en la ciudad de La Paz<sup>1</sup>, no fue necesariamente la más dañina en términos económicos aunque si en vidas humanas.

Relacionado con un evento extremo “puntual”, un hecho meteorológico que ocurrió fuera del país y que recibió mucha atención tanto por los daños causados como por las implicaciones y predicciones relacionadas con el cambio climático es el huracán Katrina que ocurrió el año 2005 en los Estados Unidos. Ese huracán fue catalogado de grado 5,

<sup>1</sup> Comunicación personal del meteorólogo Félix Trujillo del SENAMHI

el máximo en la intensidad de daño, e impactó de lleno a la ciudad de New Orleans localizada al sur de los Estados Unidos. Los daños causados por el huracán fueron de consideración pero el mayor desastre vino del hecho de que un sistema de represas se rompió en algunos casos a las pocas horas de ocurrido el fenómeno meteorológico. Como resultado de las cuantiosas pérdidas materiales y en vidas, la discusión se reavivó acerca de la relación que pudiera existir entre Cambios Climáticos y eventos extremos ligados a éstos. Algunos estudios [2] afirman que la intensidad de los huracanes (no su frecuencia) se ha incrementado en las últimas décadas al mismo tiempo que la temperatura del océano se ha incrementado cerca de  $0.5^{\circ}\text{C}$ . Algunos ven estos dos hechos como una clara prueba de cambios climáticos y eventos extremos. Otros estudios [3], sin embargo, indican que sería prematuro decir que este incremento en la temperatura del océano (cambio climático) está directamente asociado con eventos extremos como Katrina. En este sentido, el incremento observado en la intensidad de los huracanes podría ser resultado de variaciones naturales no entendidas todavía y no como efecto directo de la actividad humana.

A pesar de esta discusión, Katrina es un buen ejemplo de lo que podrían ser las consecuencias del calentamiento global. Inclusive el ex-vice presidente norteamericano Al Gore presenta a este huracán como ejemplo de lo que pasaría en el planeta producto del calentamiento global en su película “An inconvenient truth”. Y aunque hay todavía discusión entre los científicos acerca de si se puede atribuir de forma tan clara y directa este fenómeno —y la destrucción asociada al mismo— al cambio climático que se vive, está claro que este caso es una buena ilustración de los posibles efectos que el cambio climático podría causar en el planeta. Al respecto, el IPCC señala [4]: “Mientras un huracán individual no puede ser atribuido al cambio climático, este puede servir para ilustrar las consecuencias para los servicios ecosistémicos si la intensidad y/o frecuencia de tales eventos se incrementa en el futuro”.

Por todo lo dicho anteriormente, es difícil asociar directamente eventos extremos aislados con cambios climáticos globales (y peor con cambios climáticos locales). Sin embargo, dicho eso, es importante remarcar que hay evidencia tanto directa como indirecta a nivel global que muestra que “algo” está pasando y que probablemente varios de los eventos extremos que se observan están relaciona-

dos con el calentamiento de la superficie terrestre. Un solo evento no prueba que el calentamiento global esté sucediendo. Sin embargo, la gran cantidad de cambios, más allá de la variabilidad observada en el pasado, sugieren de manera muy fuerte que el calentamiento global es real y que las consecuencias pueden ser muy duras para países como Bolivia.

### 3.2. *El calentamiento global producirá un incremento de temperatura similar en todo el territorio boliviano (mito)*

Una idea equivocada pero relativamente común expresa que el calentamiento global debe manifestarse necesariamente de igual forma (similar incremento) en todas partes. Alguna gente se muestra a veces sorprendida cuando el análisis de los datos muestra regiones en las cuales la temperatura podría decrecer. Como se mencionó anteriormente, el sistema que gobierna el clima es un sistema altamente no-lineal. Esto implica que mientras en algunos lugares la temperatura podría elevarse en otros podría reducirse (debido a mayor nubosidad, por ejemplo, o al uso de suelo en la región [5]). Esto puede producirse, naturalmente, aun cuando la temperatura promedio en la región o país se incrementa. En ese sentido, un incremento en la temperatura media del planeta no implica que necesariamente la temperatura promedio de regiones frías, como el altiplano, por ejemplo, se haga más benigna para el ser humano.

### 3.3. *Una elevación de la temperatura en el altiplano debido al calentamiento global favorecerá la producción agrícola a largo plazo (mito y verdad)*

Una de las razones que se señala para sostener esta afirmación está relacionada al acortamiento del ciclo de crecimiento, lo que permitiría “evitar” las heladas típicas del invierno andino. Si bien esto es un hecho razonable, y de hecho se ha observado que en los últimos años la producción de quinua ha crecido a lugares en los cuales no se lo hacía por el extremo frío, no se toma en cuenta, sin embargo, la disponibilidad de agua en la región altiplánica. Los estudios relacionados con los glaciares andinos muestran [6] un rápido retroceso de los mismos en los últimos años. Aun más, dado que los glaciares actúan como reservorios de agua en la temporada seca, la desaparición de los mismos sería catastrófica para el ecosistema andino y los posibles cultivos

que allá pudieran aparecer producto de un eventual incremento de la temperatura. Adicionalmente, aun si la provisión de agua no fuera un problema, no todas las especies vegetales son capaces de adaptarse a los altos niveles de radiación ultravioleta recibidos en el Altiplano boliviano.

#### 3.4. *Las inundaciones en el oriente se incrementaron por causa del calentamiento global (mito y verdad)*

No hay evidencia de que eso sea así, aunque tampoco evidencia de que el calentamiento no tenga que ver con las inundaciones. Si bien eventos extremos como sequías y lluvias torrenciales son una predicción del IPCC [7], reportes del Servicio Meteorológico de Bolivia sugieren que si bien hubieron inundaciones en la región del Beni los últimos tres años en los que tuvimos un año sin Niño o Niña, un año con Niño (cuando normalmente se esperan sequías [8][9]) y el último con una Niña relativamente intensa (cuando si se esperan precipitaciones por encima de la media), estos desastres se debieron principalmente (no exclusivamente) a avances de la frontera agrícola en las zonas altas de Bolivia. El desbosque en zonas altas que tradicionalmente retenían gran parte del agua producto de las lluvias permitiría ahora a dichas aguas llegar sin dificultades a zonas tradicionalmente problemáticas. Adicionalmente, las mencionadas inundaciones se verían reforzadas por el rápido deshiele de los glaciares andinos que alimentan los ríos del área amazónica. Aunque faltan estudios más extensos para confirmar esta explicación, la misma es coherente con resultados obtenidos utilizando modelos climáticos globales. El más preocupante de estos resultados, tanto por las consecuencias para el país como por la seriedad de la institución que realizó el estudio, muestra que la Amazonia podría, literalmente, secarse convirtiéndose en el lapso de aproximadamente un siglo en una tundra [10]. Dado el rol que esta región juega en el clima regional, un cambio de este orden tendría efectos devastadores en el clima de Bolivia, y no solamente en la región oriental del país.

#### 3.5. *El agujero de ozono y el calentamiento global están directamente relacionados (mito)*

El agujero de ozono y el calentamiento global no están directamente relacionados. Estos dos problemas ambientales son esencialmente dos problemas diferentes. Mientras el calentamiento se debe prin-

cialmente al acumulamiento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono y metano, el denominado agujero de ozono está más bien relacionado a la destrucción del ozono estratosférico (aproximadamente el 90 % del ozono presente en la atmósfera se encuentra en la estratosfera [11]). Esta destrucción se produce bajo condiciones especiales en las zonas polares del planeta. En particular, la Antártica es la región donde cada primavera se produce una destrucción masiva de ozono estratosférico. Las condiciones especiales a las que se hace alusión son la existencia del vórtice polar, que es una barrera de vientos alrededor del polo sur que se forma en el invierno austral que prácticamente imposibilita el intercambio de masas de aire [12]. Este vórtice se forma en invierno. Además, las extremadamente bajas temperaturas, del orden de  $-80^{\circ}\text{C}$  (más bajas que las medidas en el polo norte), ayudan a la formación de las denominadas nubes polares estratosféricas que contribuyen a remover compuestos de nitrógeno de la atmósfera por deposición y sedimentación. Esta “desnitrificación” contribuye de manera importante a la posterior existencia de moléculas de cloro libres las cuales a su vez son las que destruyen las moléculas de ozono [13]. Como puede inferirse de esta corta explicación, el proceso de destrucción de la capa de ozono es complejo y requiere de condiciones muy especiales. Por esa razón el famoso “agujero de ozono”, al menos con la intensidad y extensión que se oye en los medios, solamente se produce en la Antártica. En el hemisferio Norte, en las zonas polares, se han observado eventos de corta duración donde la pérdida de ozono, si bien notable, nunca ha alcanzado los niveles observados en el hemisferio sur [14]. De acuerdo con esto, los datos tanto de tierra como de satélite, muestran que en latitudes como las de Bolivia, el ozono prácticamente no ha sufrido cambio, y si existió una disminución de la capa de ozono ésta no pasó del orden del 1 % por década [15]. Existe evidencia sin embargo, que muestra una tendencia negativa en las llamadas medias latitudes (región comprendida entre  $25^{\circ}$  y  $60^{\circ}$  tanto en el hemisferio norte como en el sur). En estas regiones, durante la década de los 80 y 90, se reportó una declinación de la columna de ozono del orden de 3-4 % por década (es decir, 0.3-0.4 % anuales en promedio) [16]. Si bien existieron eventos aislados en los cuales masas de aire pobre en ozono penetraron a regiones que se encuentran en las medias latitudes, estos eventos nunca fueron de larga duración y menos compara-

bles al “agujero de ozono” de la Antártica.

En todo caso, lo que debería quedar muy claro es que los actores principales del problema del adelgazamiento de la capa de ozono juegan un papel directo mínimo en el “otro” problema, el del calentamiento global. A pesar de esto, inclusive películas “holliwoodenses” caen en la confusión de relacionar el agujero de ozono con el calentamiento global. Algunas publicaciones en periódicos locales, basados en entrevistas a autoridades locales, también dicen que “el incremento de la radiación ultravioleta (como producto de la reducción de la capa de ozono) contribuye al efecto invernadero” [17]. Esto es claramente un error. Primero porque la radiación ultravioleta solamente contribuye con un 5% a toda la radiación que recibimos del sol a nivel de la superficie [18]. Si quitásemos toda la atmósfera, esa cantidad se incrementaría a aproximadamente 8%. Obviamente es altamente improbable que esto suceda en los siguientes miles de años (al menos por causas naturales), por tanto el incremento en la cantidad de radiación solar relacionada al calentamiento de la superficie debida a la reducción de la capa de ozono, especialmente en la zona tropical y de medias latitudes, es prácticamente despreciable.

Sin embargo, es importante mencionar algunos hechos que pueden contribuir a la confusión mencionada. Primero, el ozono troposférico, especialmente aquel que se halla cerca de la superficie, es un gas de efecto invernadero que absorbe la radiación infrarroja re-emitada por la tierra en la banda de los  $9.6 \mu\text{m}$ . Su contribución al calentamiento global es relativamente importante [1] aunque comparativamente menor que la del metano y del dióxido de carbono. Segundo, el ozono superficial es un gas contaminante dañino para la salud humana. Dado que este gas juega un rol muy importante en la química atmosférica a este nivel, se hace mucho énfasis en su estudio y control a nivel urbano. Finalmente, debido a que la temperatura en la estratosfera y los patrones de circulación a ese nivel también pueden verse afectados por el calentamiento global, el problema de la capa de ozono puede estar relacionado de manera indirecta con el primero [19], por ejemplo porque las reacciones químicas que conducen a la destrucción del ozono estratosférico dependen de la temperatura la cual a su vez se podría ver influenciada por el cambio climático. Esta relación entre ambos problemas es, sin embargo, de segundo o tercer orden, de importancia.

### 3.6. *La reducción de la capa de ozono (agujero de ozono) afecta a Bolivia (mito)*

De la explicación anterior se puede inferir claramente que el famoso agujero de ozono no afecta a nuestro país. Medidas realizadas en tierra por el LFA muestran que el ozono estratosférico se ha mantenido prácticamente constante durante los últimos 10 años. Es más, datos de satélite muestran que el ozono estratosférico sobre el área boliviana no ha cambiado más allá de la variabilidad natural desde 1979, año en el que se inició el monitoreo de la capa de ozono a nivel global.

### 3.7. *La intensidad de radiación ultravioleta se está incrementando debido al calentamiento global (mito)*

Datos de instrumentos situados en el LFA, en La Paz, muestran que no existen tendencias ni positivas ni negativas en la intensidad de radiación ultravioleta recibida sobre nuestra región que sean estadísticamente significativas. Si bien matemáticamente es posible encontrar tendencias distintas de cero, estas tendencias dependen del periodo de estudio y están más bien relacionadas con la variación natural de la RUV antes que con causas relacionadas a destrucción de la capa de ozono o a efectos indirectos del calentamiento global. Sin embargo, es posible pensar en al menos un posible mecanismo que pueda ligar el calentamiento global con la intensidad de RUV recibida en la región boliviana. En general, la nubosidad modula fuertemente la RUV que llega a la superficie terrestre [20]. Si debido al calentamiento global la nubosidad disminuye en ciertas zonas del planeta, entonces mayor cantidad de radiación solar (y por tanto ultravioleta) llegaría a la superficie terrestre. Dado que la RUV es naturalmente alta en el territorio boliviano, y aun más alta en la zona de los Andes [21], esto podría tener importantes consecuencias en términos de salud humana, ecosistemas y materiales.

### 3.8. *La contaminación atmosférica urbana contribuye de forma significativa al calentamiento global (verdad)*

Esta aseveración estuvo en entredicho en los últimos años debido a que se discutió si el dióxido de carbono, principal gas de efecto invernadero, era o no un contaminante atmosférico. La típica definición del término contaminación atmosférica dice que la misma es “la inyección humana en la atmósfera de elementos químicos, material particu-

lado o biológico que causa daño o molestias a humanos u otros organismos y/o daña el medio ambiente”<sup>2</sup>. Dado que el CO<sub>2</sub> es un elemento necesario para la fotosíntesis de las plantas y no dañino directamente para la salud humana se arguyó que este gas no era un contaminante. Sin embargo, inclusive la corte de justicia de los Estados Unidos reconoció el año 2007 [22] que el dióxido de carbono es un contaminante dado que daña el medio ambiente a través del calentamiento global. Dado que uno de los mayores contribuyentes a la contaminación atmosférica en las ciudades es la combustión de combustibles fósiles, está claro que la contaminación atmosférica urbana contribuye significativamente al calentamiento global.

Ahora bien, aparte del CO<sub>2</sub>, los gases relacionados con la polución urbana más importantes son el ozono superficial, los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. De todos estos elementos, el único relacionado de manera directa con el efecto invernadero es el ozono superficial. La contribución del monóxido de carbono está relacionada principalmente a su capacidad de producir metano y radicales oxhidrilos, elementos importantes en el efecto invernadero y en la química atmosférica respectivamente.

### 3.9. *Los chaqueos reducen el calentamiento global (verdad y mito)*

Esta es una verdad a medias. Los *chaqueos* o quema deliberada de biomasa producen como resultado gran cantidad de partículas de carbono producto de la combustión. Este humo está volumétricamente compuesto, en gran medida, por partículas menores a 1  $\mu\text{m}$  (aunque puede llegar hasta el orden 1 mm con fuegos muy intensos) [23] que pueden ser transportadas grandes distancias. Estas partículas en suspensión en el aire, que de manera genérica reciben el nombre de aerosoles, interactúan química y radiativamente con la atmósfera y la radiación que incide sobre ella. Aunque cualitativamente las propiedades de las partículas producidas por los *chaqueos* están bien entendidas, el efecto que estos y otros aerosoles de origen antropogénico y natural puedan tener sobre el clima no está todavía claramente entendido. Algunos tipos de aerosoles, como los sulfatos, producto de erupciones volcánicas por ejemplo, tienen el efecto de enfriar la superficie terrestre [24] mientras que otros, como el carbón negro [25], más bien ab-

sorben energía y refuerzan el efecto invernadero. El efecto sobre el clima de este tipo de partículas en suspensión es aun más complicado pues existen efectos directos, como son aquellos relacionados con el enfriamiento o calentamiento de la superficie terrestre, o indirectos como son aquellos relacionados con la formación de nubes.

Sin embargo, la quema de material vegetal no solamente produce humo sino libera a la atmósfera una gran cantidad de carbono y otros gases de efecto invernadero [23]. Si bien el humo puede llevar a corto plazo a un enfriamiento de la atmósfera es probable que a largo plazo el efecto de los gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera produzca un efecto neto de calentamiento [26]. Y es que en realidad el humo y otras partículas producto de actividad antropogénica pueden estar inhibiendo, al reflejar radiación solar por ejemplo, el calentamiento global, produciendo así un efecto “positivo” sobre el clima actual. El problema es que, conforme se hacen esfuerzos para mejorar la calidad del aire que respiramos, dejamos a la atmósfera libre de cualquier “escudo” que re-emita radiación solar hacia el espacio. Esto podría acelerar dramáticamente el efecto invernadero a corto plazo [27].

### 3.10. *Podemos predecir los efectos del cambio climático de una manera muy precisa en cualquier región del país (mito)*

Es relativamente común el escuchar proyecciones acerca los efectos del calentamiento global en el planeta como si estas fueran verdades casi incontestables. En particular no se hace mención de las incertidumbres asociadas a estas predicciones. Si bien es cierto que los modelos que se usan para estudiar el clima del futuro sugieren claramente la probabilidad de incremento de eventos extremos (sequías e inundaciones por ejemplo) es todavía muy difícil el poder saber de manera precisa los efectos locales, especialmente en una región como la boliviana, debido a la topografía y falta de un registro preciso de información climática.

En ese sentido es interesante revisar informaciones que aparecen en medios de prensa locales. A modo de ejemplo podemos usar declaraciones publicadas en el periódico paceño La Razón<sup>3</sup>. En los mencionados artículos se hacen las siguientes aseveraciones:

a) “El 2004, la temperatura se incrementó en 0,4 grados centígrados. El 2010 se elevará en 0,6

<sup>2</sup> Adaptado de [http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_pollution](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_pollution)

<sup>3</sup> Enero 2 y Febrero 16 del 2005.

grados, el 2020 en 0,9 y el 2030 en 1,2 grados centígrados, si no es más, puesto que la medición se hizo en base del crecimiento poblacional, económico y al consumo de energía que sobrepasaron lo esperado.”.

b) Los futuros efectos en el país están espacialmente bien localizados. Por ejemplo, el artículo del 2 de enero dice que “En el norte, la tendencia será a incrementar las precipitaciones, en el sur y el Chaco se acentuarán las sequías. En la región de Santa Cruz se presentarán inundaciones y vientos fuertes”.

c) Los cambios en la extensión de los bosques secos tropicales y bosques semihúmedos subtropicales serían significativos. El artículo del 2 de enero dice que para “el 2036 el bosque húmedo subtropical se reducirá en un 71,52%”.

Debido a la complejidad antes mencionada, cualquier predicción acerca del futuro del clima del planeta debe hacerse utilizando modelos matemáticos de los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados. Dado que es imposible conocer con absoluta precisión todas las variables que influyen el comportamiento del sistema y que no todos los procesos son entendidos a cabalidad, los datos proporcionados al modelo a “tiempo cero” (al inicio del análisis) tienen cierto grado de incertidumbre. Claramente, al ser el sistema que gobierna el clima un sistema no-lineal, estas incertidumbres, aun pequeñas, podrían conducir (y muchas veces así sucede efectivamente) a predicciones muy distintas, aun para un mismo modelo.

Con estas dos consideraciones en mente, es claro que los resultados presentados en los puntos a) y c) deberían ser proporcionados con un grado de incertidumbre (aunque en a) se menciona implícitamente que existe un error, sin decir cual sería el mismo). Por ejemplo, se debería decir que el incremento probable de la temperatura se encuentra entre 0.7°C y 1.1°C si la estimación del modelo fuera 0.9°C y la respectiva incertidumbre fuera 0.2°C. Tal como se expresan los resultados del estudio, utilizando algún modelo matemático seguramente, se sugiere que los mismos tienen una alta precisión (un error tan pequeño que ni se lo menciona).

El otro aspecto asociado a estos modelos es que típicamente la incertidumbre en las predicciones es mayor en términos espaciales. Es decir, los modelos proporcionan resultados significativamente distintos para regiones o puntos específicos, aunque los resultados sean parecidos cuando se promedian en regiones mucho más grandes (por ejemplo bandas

latitudinales o por hemisferios). Esto significa que, hoy por hoy, nuestra habilidad de predecir cuales serán los cambios específicos en determinadas regiones es muy limitada o requieren, cuando menos, una validación profunda de los modelos que se usan para realizar dichas predicciones. Las conclusiones expresadas en b) merecen, por tanto, una explicación más profunda y que se mencione la incertidumbre asociada. ¿Cuán probable es que ese escenario ocurra?

El grado de incertidumbre es muy importante para poder establecer políticas relacionadas a los efectos del cambio climático en Bolivia. Cuanta más certeza se tenga acerca de los efectos puntuales sobre el país mejor se podrán utilizar los recursos destinados a paliar esos efectos, e inversamente, cuanto más grande sea la incertidumbre científica mayor la incertidumbre en cuanto a la eficacia de las medidas ha adoptarse.

#### 4. CONCLUSIONES

El estudio del clima terrestre ha demostrado ser un problema formidable que requiere información temporal y espacial lo más completa posible —cosa que no es fácil de encontrar para Bolivia— y un enfoque multidisciplinario y riguroso desde el punto de vista científico. A pesar de eso, la comunidad científica ha avanzado estableciendo de manera clara que “las observaciones muestran que la superficie de la Tierra se está calentando” y que “gran parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se ha producido probablemente por un aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero debido a actividades humanas” [1].

Ahora bien, dada la complejidad del problema, los posibles efectos del calentamiento global en un país como Bolivia, y la dificultad debido a la topografía y extensión de su territorio, es imperioso trabajar de forma coordinada y mancomunada entre instituciones que realicen investigación científica, universidades principalmente, instituciones que trabajan en temas meteorológicos, el Servicio Nacional de Meteorología por ejemplo, y entidades que puedan sugerir acciones y políticas sobre la base de los resultados de estos estudios, el Programa Nacional de Cambios Climáticos, en este caso. Los resultados de esa investigación coordinada podrán ayudar a definir políticas de acción más certeras en temas de adaptación y mitigación ante los posibles efectos negativos que el cambio climático produzca en Bolivia.

## REFERENCIAS

- [1] Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] K. A. Emanuel, Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, *Nature*, **436**, 686-688, 2005.
- [3] R. A. Pielke Jr., Landsea C., Mayfield M., Laver J., and Pasch R., Hurricanes and Global Warming, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **86**, 1571-1575, 2005.
- [4] Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.
- [5] Kalnay E., Impacts of urbanization and land surface changes on climate trends, *International Association for Urban Climate*, **27**, 2008.
- [6] Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza, and J.-E. Sicart, Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S, *J. Geophys. Res.*, **108**, 4154, 2003.
- [7] IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- [8] Vuille, M. and Keimig, F., Interannual Variability of Summertime Convective Cloudiness and Precipitation in the Central Andes Derived from ISCCP-B3 Data, *J. Clim.*, **17**, 3334-3348, 2004.
- [9] Garraud, R., Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes, *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 901-921, 1999.
- [10] Cox P.M., Betts R. A., Collins M., Harris P. P., Huntingford C., and Jones C. D., Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century, *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 137-156, 2004.
- [11] Holton, J. R., P. H. Haynes, M. E. McIntyre, A. R. Douglass, R. B. Rood, and L. Pfister, Stratosphere-troposphere exchange, *Reviews of Geophysics*, **33**, 403-439, 1995.
- [12] Nash, E.R., P.A. Newman, J.E. Rosenfield, and M.R. Schoeberl, An objective determination of the polar vortex using Ertel's potential vorticity, *J. Geophys. Res.*, **101**, 9471-9478, 1996.
- [13] Schoeberl, M. R., and D. L. Hartmann, The dynamics of the stratospheric polar vortex and its relation to springtime ozone depletion, *Science*, **251**, 46-52, 1991.
- [14] Koch, G., H. Wernli, J. Staehelin, and T. Peter, A Lagrangian analysis of stratospheric ozone variability and long-term trends above Payerne (Switzerland) during 1970-2001, *J. Geophys. Res.*, **107**, 4373, 2002.
- [15] Sahai, Y., V. W. J. H. Kirchhoff, N. M. P. Lerne, and C. Casaccia, Total ozone trends in the tropics, *J. Geophys. Res.*, **105**, 19,823-19,828, 2000.
- [16] Staehelin, J, N. R. P. Harris, C. Appenzeller, and J. Eberhard, Ozone trends: A review, *Reviews of Geophysics*, **39**, 231-290, 2001.
- [17] La Prensa, 16 de Septiembre, 2002.
- [18] Andrade M. & R. Forno (eds) "Naturaleza y Efectos de la Radiación Ultravioleta y la Capa de Ozono". Memorias del Simposio Internacional *Naturaleza y Efectos de la RUV y la Capa de Ozono*, Septiembre, 1996, La Paz.
- [19] Hartmann D. L., J. M. Wallace, V. Limpasuvan, D. W. J. Thompson, and J. R. Holton, Can ozone depletion and global warming interact to produce rapid climate change?, *PNAS*, **97**, 1412-1417, 2000.
- [20] McKenzie R. L., P. J. Aucamp, A. F. Bais, L. O. Björnd and M. Ilyase, Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *Photochemical & Photobiological. Sciences*, **6**, 218-231, 2007.
- [21] Zaratti, F., Forno, R. N., García Fuentes, J. & Andrade, M. F., Erithemally-weighted UV variations at two high-altitude locations, *J. Geophys. Res.*, **108**, 4263, doi:10.1029/2001JD000918, 2003.
- [22] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/americas/6519923.stm>
- [23] Reid J. S., R. Koppmann, T. F. Eck, and D. P. Eleuterio, A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles, *Atmos. Chem. Phys.*, **5**, 799-825, 2005.
- [24] Robock, A., Pinatubo eruption: The Climatic Aftermath, *Science*, **295**, 1242 - 1244, 2002.
- [25] Dickerson, R. R., M. O. Andreae, T. Campos, O. L. Mayol-Bracero, C. Neusuess, and D. G. Streets, Analysis of black carbon and carbon monoxide observed over the Indian Ocean: Implications for emissions and photochemistry, *J. Geophys. Res.*, **107**, 8017, doi:10.1029/2001JD000501, 2002.
- [26] Jacobson M.Z., The Short-Term Cooling but Long-Term Global Warming Due to Biomass Burning, *Journal of Climate*, **17**, 2909-2926, 2004.
- [27] Ramanathan V., C. Chung, D. Kim, T. Bettge, L. Buja, J. T. Kiehl, W. M. Washington, Q. Fu, D. R. Sikka, and M. Wild, Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle, *PNAS*, **102**, 5326-5333, 2005.