

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Gustavo M. Bastien-Montoya^{1*}, Bernardo A. Bastien-Olvera²,
Raiza Pilatowsky-Gruner³ y Carlos Gay-García⁴

¹Universidad Autónoma Metropolitana, México. Av. San Pablo No. 180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200 Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. *mbastien@azc.uam.mx

²Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, 9500, Gilman Drive La Jolla, CA. C.P. 92093. bbastien@ucsd.edu

³Estudios Planeteando, Refugio 86, Col. Nativitas C.P. 03500, Alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México. raiza.pila@gmail.com

⁴Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. cgay@unam.mx

RESUMEN

Los conceptos erróneos son razonamientos equivocados muy arraigados que se resisten a cambiar incluso cuando se abordan mediante la enseñanza. En el campo del cambio climático y la educación ambiental, se han estudiado los conceptos erróneos con el fin de rectificar la comprensión errónea del tema, especialmente en los estudiantes, que serán los responsables de la toma de decisiones en un mundo futuro que experimentará los mayores impactos del cambio climático. Algunos de los conceptos erróneos más dominantes están relacionados con la incompreensión de la capa de ozono, el efecto invernadero y el concepto de calentamiento global. Sin embargo, se sabe muy poco sobre cómo se relacionan estos conceptos erróneos entre sí y si existen diferentes niveles de importancia entre ellos. Aquí demostramos que los conceptos erróneos particulares sobre el cambio climático y las interacciones específicas entre ellos funcionan como predictores de la incompreensión general del tema. Para ello, analizamos las respuestas de los estudiantes universitarios a las encuestas sobre los conceptos del cambio climático utilizando métodos de *bosque aleatorio*. A diferencia de estudios anteriores que han proporcionado una lista categórica de conceptos erróneos sobre el cambio climático, este estudio encuentra los niveles de importancia relativa entre los conceptos erróneos, revelando que la creencia de que el agujero en la capa de ozono es la causa principal del cambio climático y que el efecto invernadero ha sido provocado por los seres humanos. Estos son conceptos erróneos significativos que también actúan como predictores de la incompreensión general del tema. Estos resultados nos permiten identificar las ideas clave con las que los alumnos tienen más dificultades. Este estudio podría servir como punto de partida para comprender la interrelación de ideas que hacen del cambio climático un campo de estudio complejo.

Palabras clave: Modelos mentales, conceptos erróneos, cambio climático, educación, capa de ozono.

ABSTRACT

Misconceptions are deep-seated and erroneous thought processes that resist change even when addressed through teaching. In the field of climate change and environmental education, misconceptions have been studied in order to rectify the misunderstanding of the topic, especially in students, who will be the decision makers of a future world that will experience the greatest impacts of climate change. Some of the most dominant misconceptions are related to the misunderstanding of the ozone layer, the greenhouse effect and the concept of global warming. However, very little is known about how these misconceptions relate to each other, and whether there are different levels of importance between them. Here we demonstrate those particular misconceptions about climate change and specific interactions between misconceptions function as predictors of general misunderstanding of the topic. To do so, we analyze college students' responses to surveys on climate change concepts using random forest methods. Unlike previous studies that have provided a categorical list of climate change misconceptions, this study finds levels of relative importance among misconceptions, revealing that the belief that the ozone hole is the primary cause of climate change and that the greenhouse effect has been caused by humans are significant misconceptions that also act as predictors of general misunderstanding of the topic. These results allow us to identify the key ideas with which students have the most difficulty. This study could serve as a starting point for understanding the interrelationship of ideas that make climate change a complex field of study.

Keywords: Mental models, misconceptions, climate change, education, ozone layer.

INTRODUCCIÓN

La correcta comprensión del cambio climático por parte de los estudiantes universitarios es fundamental, ya que en los próximos años se convertirán en responsables de la toma de decisiones que podrían influir en la forma de mitigar el cambio climático y adaptarse a él (Gautier *et al.*, 2006).

Esto adquiere mayor importancia ya que los estudios demuestran que el conocimiento de las causas del cambio climático y de sus repercusiones puede aumentar la preocupación psicológica por el tema, así como predecir si se tomarán medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Bord *et al.*, 2000; Spence *et al.*, 2011). Sin embargo, al igual que ocurre con otros temas complejos en la enseñanza de las ciencias, como la selección natural (Ferrari y Chi, 1998), se han detectado en los estudiantes varias ideas erróneas sobre los conceptos y procesos centrales del cambio climático (Chang y Pascua, 2016; Gautier *et al.*, 2006; Karpudewan *et al.*, 2015; Ramírez Vázquez *et al.*, 2016). La presencia de estos razonamientos erróneos es preocupante porque impide adquirir nuevos conocimientos científicos. Por lo tanto, el estudio de las ideas erróneas sobre el cambio climático en los estudiantes de nivel universitario resulta crucial, ya que la mayoría de ellos ya no tomarán cursos relacionados con el cambio climático, e incluso si lo hacen, es posible que sus razonamientos erróneos arraigados sobre el cambio climático permanezcan.

Investigaciones anteriores sobre las ideas erróneas sobre el cambio climático han identificado varias ideas incorrectas que tienen los estudiantes de distintos niveles educativos, como la creencia de que el cambio climático se origina con el deterioro de la capa de ozono (Ramírez Vázquez *et al.*, 2016), que el cambio climático puede reducirse separando la basura, que el CO₂ genera el agujero en la capa de ozono, o que podemos controlar las concentraciones de CO₂ en nuestras tasas de emisión actuales o por encima de ellas (Dutt y Gonzalez, 2012).

Por ejemplo, una investigación con estudiantes de nivel universitario (De La Chaussée-Acuña y Cházari-De La Chaussée, 2017) ha descubierto que, aunque no entiendan lo que significa el cambio climático, sí se comprenden sus efectos. En un caso centrado específicamente en el efecto invernadero mediante el uso de mapas conceptuales, los investigadores descubrieron que los modelos mentales de los estudiantes universitarios mostraban una falta de comprensión de cómo funcionan los procesos radiativos, al explicar el efecto invernadero como energía solar atrapada o gases de efecto invernadero atrapados, así como una falta de conocimiento de que la Tierra tiene un efecto invernadero natural (Gautier *et al.*, 2006; Rebich y Gautier, 2005). Por otra parte, en un estudio realizado con estudiantes universitarios británicos sobre sus conocimientos del cambio climático global, más concretamente sobre el efecto invernadero y el agotamiento de la capa de ozono, los resultados muestran que en general tenían una buena comprensión de ambos fenómenos, aunque sus conocimientos sobre el agotamiento de la capa de ozono eran significativamente mayores que los del efecto invernadero (Spellman *et al.*, 2003).

En el nivel de secundaria, la mayoría de los estudios han constatado que dentro de los temas del calentamiento global, el efecto invernadero y el cambio climático, así como sus diferencias, causas, impactos y posibles soluciones, los alumnos tienen modelos mentales erróneos y, como en otros casos, ven una relación entre la capa de ozono como fuente o consecuencia del efecto invernadero (Jacobson *et al.*, 2017; Shepardson *et al.*, 2011). En un ejemplo reciente de Singapur (Chang y Pascua, 2016), los autores evaluaron el grado de completitud, coherencia y corrección de los conocimientos de los alumnos de 9º curso sobre varios temas relacionados con el cambio climático. Sus conclusiones indican que los modelos mentales de los alumnos se construyen con información errónea e incompleta,

de la que no son conscientes y, por tanto, son resistentes al cambio.

Aunque todos estos estudios han aportado grandes conocimientos acerca de los conceptos erróneos sobre el cambio climático, sólo se han centrado en crear listas categóricas, sin analizar las relaciones entre los distintos conceptos erróneos. En este estudio exploramos si ciertos conceptos erróneos podrían utilizarse como indicadores de modelos mentales erróneos de los estudiantes sobre el cambio climático, e identificamos la importancia relativa de los conceptos erróneos sobre el cambio climático conocidos para predecir la corrección de la comprensión de los estudiantes universitarios sobre el cambio climático utilizando árboles de regresión y métodos de Bosque Aleatorio o *Random Forest* (RF), así como la comprensión de otras variables clave con un modelo de regresión lineal. De febrero a julio de 2018, encuestamos a 315 estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en la Ciudad de México de tres áreas de estudio (sociología/economía, ingeniería y diseño/arquitectura) a lo largo de un amplio rango de unidades cursadas (ver Métodos). La encuesta estuvo conformada por ocho preguntas cerradas y dos abiertas que tuvieron como objetivo alinear afirmaciones falsas y verdaderas sobre el cambio climático con diferentes razonamientos que explicaran si esa afirmación podía ser falsa o verdadera, lo que nos permitió identificar no sólo si los estudiantes conocían la veracidad de las afirmaciones, sino también si tenían un razonamiento detrás de la respuesta que pudiera considerarse un modelo explicativo congruente, aun cuando la afirmación fuera falsa.

MÉTODOS

Datos. Nuestros datos contienen las respuestas de 315 estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco, lo que da cuenta de una muestra estadísticamente representativa de los estudiantes inscritos en el primer trimestre de 2018. La encuesta consta de ocho preguntas de opción múltiple y dos preguntas abiertas. Cada pregunta de opción múltiple contiene una afirmación sobre el cambio climático y el estudiante debe responder si es falsa, verdadera o desconocida para él. Cada afirmación tiene un segundo conjunto de opciones de elección múltiple que daba cuenta de la razón del estudiante de esa elección. El conjunto de opciones representaba una razón correcta informada científicamente, una razón incorrecta informada científicamente, una razón informada por los medios de comunicación y una razón que daba cuenta de la falta de información. Las preguntas y las opciones de la encuesta se formularon inicialmente a partir de una amplia revisión bibliográfica y se publicó una primera versión que fue revisada por expertos en cambio climático y educación científica (Bastien Montoya *et al.*, 2018), teniendo en cuenta criterios de claridad, brevedad, vocabulario común, contenido y relevancia. Las preguntas y las respuestas correctas pueden consultarse en el [Anexo 1](#).

Con las respuestas creamos primero un índice binario para cada respuesta que ilustra si la respuesta es congruente. Una respuesta congruente viene dada por un par de opciones que no genera una contradicción. Si la respuesta del alumno es correcta (incorrecta) en cuanto a si una determinada afirmación es verdadera o falsa, tiene que tener necesariamente la razón correcta (incorrecta) asociada, científicamente informada, para considerarla una respuesta congruente.

Bosque aleatorio (RF). Sumamos las respuestas correctas y congruentes y obtenemos una puntuación total para cada alumno. Utilizamos esta puntuación para revelar los conceptos clave mediante una técnica de aprendizaje supervisado denominada Bosque Aleatorio (Breiman, 2001). Un árbol de regresión se genera dividiendo una variable de predicción en dos subconjuntos óptimos que generan el menor error cuadrático medio entre el valor observado de cada variable de respuesta dentro del subconjunto y el valor medio de respuesta del propio subconjunto. Se realizan más subdivisiones dentro de cada subconjunto hasta que se utilizan todas las variables predictoras y el valor medio de la respuesta del último subconjunto se utiliza como valor de predicción del árbol. Un bosque aleatorio es un conjunto de un gran número de árboles utilizados conjuntamente para predecir un único valor. Los árboles individuales de un bosque crecen utilizando una submuestra aleatoria de los predictores en cada paso de división.

El valor del bosque se obtiene con la media de todos los árboles, bajo la premisa de que varios modelos buenos son mejores que un único modelo sobreajustado. Nuestra variable de respuesta es la puntuación global, y su predictor es el valor binario individual correcto y congruente de cada pregunta. Por definición, cada rama de un árbol que tenga una observación (no) congruente y correcta dará lugar a puntuaciones globales más altas (más bajas). Sin embargo, la técnica de muestreo *bootstrapping* aplicada en cada árbol del bosque nos permitirá identificar los predictores que generaron mejores modelos, es decir, los conceptos más importantes que conducen a puntuaciones globales más altas o más bajas.

Obtenemos cuatro como número óptimo de variables de submuestra para el *bootstrap* utilizando una técnica de validación cruzada. El número de árboles en el bosque es de 500, como suele establecerse por defecto (Breiman, 2002). Por último, medimos la importancia de las variables estimando la profundidad mínima a la que se encuentra la variable en cada árbol del bosque. Cuanto menor sea la profundidad, la variable será encontrada más rápido por el algoritmo de *bootstrapping* como una variable de partición óptima que produce el menor error cuadrático medio, por lo tanto, las profundidades mínimas más bajas representan variables más importantes.

Para las interacciones entre conceptos erróneos, los valores condicionales se calculan con un enfoque similar, sin embargo, la profundidad mínima no se calcula con respecto a todo el árbol sino sólo con respecto a la variable condicional, dicho cálculo se realizó con el paquete del software "r" *explainmyforest*.

Regresiones. Las dos últimas preguntas están relacionadas con la percepción individual. Preguntamos a los alumnos si han experimentado personalmente el cambio climático y si creen que el clima terrestre reciente puede considerarse normal. Es importante distinguir que estas preguntas están directamente relacionadas con la percepción del alumno y no con la ciencia del cambio climático. Por lo tanto, no hay respuestas erróneas, ya que no podríamos desacreditar las percepciones de las personas.

Realizamos regresiones para la percepción personal del cambio climático y la percepción de condiciones normales en el clima global reciente utilizando diferentes especificaciones de ecuación (lineal y binomial) y diferentes variables. Utilizando el criterio de información de Akaike (Gareth *et al.*, 2013) encontramos el modelo relativamente mejor. Para la variable dependiente de percepción personal, el

mejor modelo fue una función de regresión binomial de género, log(unidades) y percepción del cambio global. Sin embargo, no hubo variables estadísticamente significativas para las regresiones realizadas a la percepción del cambio climático global como variable dependiente. En particular, los conceptos erróneos no mostraron ninguna relación estadísticamente significativa con estas variables. Se realizó un análisis similar con la puntuación de la suma de las respuestas correctas y congruentes (C&C) como regresión, pero ahora utilizando modelos de regresión lineal y de Poisson (Gareth *et al.*, 2013). El modelo relativamente mejor es un modelo de Poisson dependiente de la percepción del cambio climático global, las unidades y el área de estudio, pero no del género ni de la percepción personal del cambio climático.

RESULTADOS

En primer lugar, clasificamos cada respuesta asociando la veracidad de la afirmación con la congruencia del razonamiento que la sustenta (Tabla 1) y cuantificamos dos tipos de puntuación global para cada alumno: la suma de las respuestas correctas y la suma de las respuestas correctas y congruentes (C&C). La figura muestra las distribuciones de frecuencias de dichas puntuaciones, lo que demuestra que las puntuaciones C&C más altas son menos frecuentes que las puntuaciones sólo correctas.

Tabla 1. Alineación de las preguntas que identificaron a los estudiantes con modelos explicativos correctos y congruentes.

| | Razonamiento correcto | Razonamiento erróneo |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Declaración verdadera | Correcto y congruente (C&C) | Correcto e incongruente (Otros) |
| Declaración falsa | Incorrecto y congruente (Otros) | Incorrecto e incongruente (Otros) |

Una prueba de ANOVA sobre estos datos arroja un valor p de 0.03, lo que hace que la diferencia entre las puntuaciones de C&C y las de sólo corrección sea estadísticamente significativa a un nivel del 97 % (Figura 1). Consideramos que esta evidencia es suficiente para confiar más en las puntuaciones de C&C en el próximo análisis y para recomendar el uso de este marco de razonamiento de apoyo a futuros estudios.

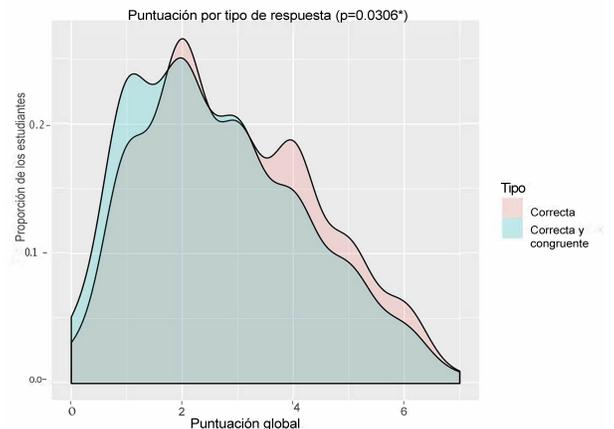


Figura 1. Distribución de la frecuencia de las respuestas correctas en comparación con las de C&C.

Las puntuaciones de C&C para cada pregunta (Figura 2) muestran que más del 60 % de los estudiantes consideran que el cambio climático significa lo mismo que el calentamiento global (Q1); el 85.5 % afirma que el cambio climático está científicamente demostrado (Q2); dos tercios de la muestra señalan el agujero de la capa de ozono como la principal causa del cambio climático (Q3); más de cuatro quintas partes de los estudiantes respondieron que los gases de efecto invernadero son contaminantes (Q4) y que el efecto invernadero es antropogénico (Q5); que los acontecimientos extremos puntuales son una prueba del cambio climático (Q6) y que un aumento de 4 °C de la temperatura media en superficie por encima de los niveles preindustriales no tendrá consecuencias graves (Q7). Sólo un 10 % de los alumnos respondió que el vapor de agua es un gas de efecto invernadero (Q8). Estos resultados coinciden con las conclusiones de investigaciones anteriores (Gautier et al., 2006; Jacobson et al., 2017; Karpudewan et al., 2015; Rebich y Gautier, 2005).

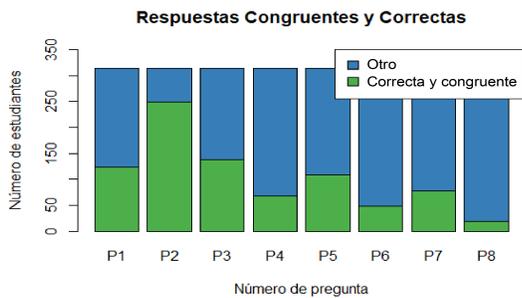


Figura 2. Respuestas C&C por pregunta

Siguiendo a otros autores (Viennot, 1978), podemos utilizar los patrones de error para construir un pequeño modelo explicativo de las respuestas más comunes de los alumnos, como sigue:

“Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero han hecho un agujero en la capa de ozono, lo que permite la entrada de más radiación y provoca un calentamiento global; estos gases o contaminantes son puramente causados por la actividad humana y excluyen de forma natural el vapor de agua; la temperatura puede aumentar unos 4 °C sin mayores consecuencias.”

El modelo anterior es muy simple (y erróneo) y explica gran parte de las respuestas erróneas de los alumnos. Sin embargo, no dice nada sobre las relaciones entre los conceptos erróneos o la importancia en la comprensión general del cambio climático. Para analizar la importancia relativa de conceptos erróneos específicos en la experiencia general sobre el cambio climático, generamos un bosque aleatorio que predijo la puntuación general de C&C basándose en subconjuntos aleatorios de respuestas individuales a los conceptos erróneos. Por definición, el bosque aleatorio podría predecir muy bien la C&C global, sin embargo, lo interesante es analizar las variables que resultaron más importantes en este ejercicio.

La Figura 3 muestra la profundidad mínima a la que se encuentra cada variable en cada uno de los 500 árboles de regresión del bosque. Los valores más bajos de la profundidad mínima significan que esas variables fueron óptimas para dividir los datos al principio del proceso de generación del árbol de regresión, por lo que nuestro análisis indica que las respuestas C&C a las preguntas 3 y 5 son de gran importancia para determinar la comprensión general de los conceptos del cambio climático. Estas preguntas reflejan las ideas erróneas: el cambio climático causado por el agujero de la capa de ozono y el efecto invernadero es causado por los seres humanos.

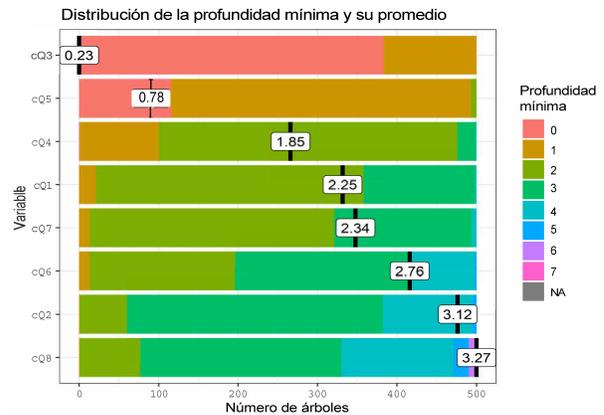


Figura 3. Distribución de la profundidad mínima para cada concepto erróneo. Las etiquetas “cQ” en el eje Y hacen referencia a “Pregunta contestada correctamente” (del inglés “correct Question”).

Esta importancia relativa puede verse a través de la investigación realizada por Chi y Roscoe (2002), quienes sostienen que la solidez de las concepciones erróneas proviene de las categorizaciones ontológicas erróneas. Estos autores argumentan que los errores conceptuales pueden dividirse en dos: preconceptos y conceptos erróneos. Los conceptos erróneos resultan de la asignación de categorías ontológicas inapropiadas; por ejemplo, pensar que la corriente eléctrica es “una sustancia” implica una asignación diferente de su categoría ontológica correspondiente, que sería la de “un proceso” y, por tanto, es difícil de modificar. Las preconcepciones, en cambio, pertenecen a su categoría ontológica y, por tanto, son más fáciles de corregir. Siguiendo esta clasificación, los conceptos erróneos indican una falta de comprensión más profunda sobre el fenómeno en cuestión, y sólo pueden modificarse con lo que se conoce como cambio conceptual.

A partir de los resultados de este estudio, vemos que hay una categorización errónea asociada al agujero de la capa de ozono, que pertenece a una categoría ontológica diferente a la que le asignan los alumnos. El agujero de la capa de ozono y el cambio climático son dos categorías distintas que pertenecen a una categoría superior que podemos denominar “Cuestiones medioambientales”, donde podemos encontrar categorías como el cambio climático, el agujero de la capa de ozono, la eliminación y acumulación de residuos, los plásticos de los océanos, y otras con los mismos niveles de complejidad. De todas las preguntas de nuestro cuestionario, el único

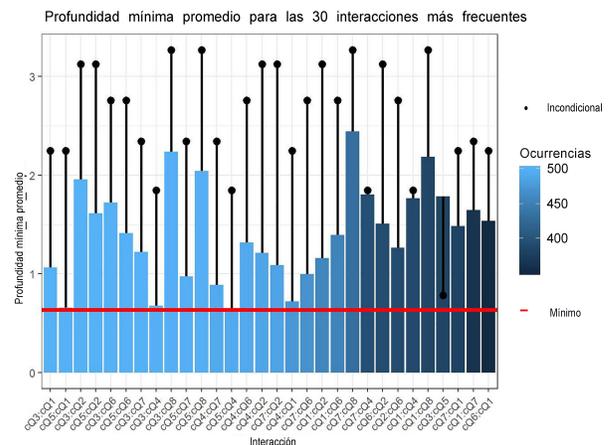


Figura 4. Interacciones importantes entre los conceptos erróneos

concepto erróneo es el Q3, que, junto con Q5, señala la presencia de otras ideas preconcebidas.

Además, realizamos un análisis de interacción que nos permite explorar los efectos condicionales de determinados conceptos erróneos en la comprensión general del cambio climático. La Figura 4 muestra la profundidad mínima media de las 30 interacciones más frecuentes entre conceptos erróneos. Dicha métrica refleja la importancia de preguntar un concepto erróneo específico una vez que se conoce la respuesta de uno anterior, siendo la interacción Q5:Q4 la más importante de entre ellas, lo que significa que, si se ha formulado la pregunta Q5, la mejor pregunta inmediata posible para predecir mejor la puntuación global de C&C sería la Q4.

Como se muestra en la Tabla 2, estas interacciones podrían reflejar la intercongruencia entre las respuestas a los conceptos erróneos. Dado que la pregunta Q4 y la pregunta Q5 se refieren a conceptos íntimamente relacionados (sobre el efecto invernadero y los gases de efecto invernadero), una respuesta intercongruente que tenga ambas respuestas correctas y congruentes podría reflejar un modelo conceptual global más congruente sobre el cambio climático y, por tanto, puntuaciones globales más altas. Notablemente, todas las profundidades mínimas medias incondicionales (la media de la profundidad mínima de cada pregunta sin estar condicionada a otra) están muy por encima de sus efectos de interacción, lo que significa que, por sí solas, esas preguntas no son tan importantes como la interacción con el concepto erróneo condicional. Una excepción es Q3:Q5, que resulta ser la interacción entre los dos conceptos erróneos más importantes, esto significa que la pregunta Q3 tiene más poder predictivo por sí misma que la aportación adicional de la pregunta Q5.

| Matriz de intercongruencia | El efecto invernadero es causado por los humanos. | El efecto invernadero no es causado por los humanos. |
|------------------------------------|---|--|
| Los GEI son contaminantes | Intercongruente pero equivocado | No intercongruente |
| No todos los GEI son contaminantes | No intercongruente | Intercongruente y correcto |

Para la última parte del análisis, nos interesaba investigar hasta qué punto la puntuación global de C&C estaba relacionada con las características de los estudiantes y hasta qué punto podía determinar las percepciones de los estudiantes con respecto a la percepción del efecto del cambio climático. Para ello, empleamos estadísticas inferenciales sobre nuestros datos para identificar posibles relaciones causales.

En primer lugar, especificamos ecuaciones de regresión múltiple para hacer una regresión de la percepción personal del cambio climático sobre múltiples regresores como la puntuación de C&C, el género (hombre o mujer), el área de estudio (ingeniería, diseño/arquitectura, sociología/economía), las unidades completadas (número de créditos) y la percepción del clima global como normal (clima global normal), utilizando modelos lineales simples y modelos lineales generalizados con distribuciones binomiales, dado que el regresor es una variable binaria. Hicimos una búsqueda sistemática de diferentes ecuaciones y variables; utilizando el criterio de información de Akaike (que utiliza una función de Poisson) encontramos el modelo

con la mayor calidad relativa que se muestra en la Tabla 3 (Modelo 1).

Además, hicimos modelos de regresión de la puntuación de C&C utilizando el mismo enfoque sistemático que en las regresiones anteriores. Sin embargo, esta vez incluimos la posibilidad de utilizar un modelo lineal generalizado con una función de Poisson, dada la forma distinta de la distribución de C&C (véase la Figura 1). Un criterio de información de Akaike arrojó el mejor modelo de regresión relativo, que se muestra en la Tabla 3 (Modelo 2).

| Modelo 1 | | Modelo 2 | |
|----------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|
| Variable independiente | Variable dependiente: ¿Has experimentado personalmente el cambio climático? (1=Sí, 0=No) | Variable independiente | Variable dependiente: C&C |
| Clima global normal | -0.078* (0.042) | Clima global normal | -0.177* (0.097) |
| Log(créditos) | -0.054*** (0.021) | Créditos | -0.106* (0.056) |
| Género | -0.083*** (0.032) | Ingeniería | 0.194*** (0.089) |
| Constante ec. de regresión | 1.238*** (0.108) | Diseño y arquitectura | 0.276*** (0.094) |
| | | Constante para sociología/economía | 1.367*** (0.279) |
| Observaciones | 315 | Observaciones | 315 |
| R ² | 0.047 | Probabilidad lógica | -565.682 |
| R ² ajustada | 0.038 | Akaike Inf. Crit. | 1,141.364 |
| Error estándar residual | 0,280 (df=311) | | |
| Estadística F | 5,131*** (f=3;311) | | |

El Modelo 1 nos dice que la percepción de las condiciones climáticas normales afecta negativamente a la percepción de que los estudiantes han experimentado personalmente el cambio climático, lo que significa que los que perciben que el clima global ha sido anormal también lo perciben a nivel personal. Además, encontramos que cuantos más créditos hayan cursado en la universidad, menos perciben los cambios climáticos a nivel personal. Por último, las personas que no se identifican como mujeres tienden a tener una menor percepción del cambio climático a nivel personal. Cabe destacar que la puntuación de los estudiantes en C&C y el área de estudio no mostraron ninguna relación estadísticamente significativa con la percepción personal del cambio climático, lo que significa que las ideas erróneas no determinan la concientización, como también se ha demostrado en estudios anteriores.

En el caso del Modelo 2, los resultados nos indican que los estudiantes que no perciben un cambio en el clima global y los que han cursado más créditos en la universidad tenderán a tener puntuaciones

más bajas en C&C. Además, los estudiantes de ingeniería tienen menos conceptos erróneos sobre el clima que los de ciencias sociales, mientras que los arquitectos y diseñadores tienen menos conceptos erróneos que los estudiantes de ingeniería. La mejor comprensión de los estudiantes de arquitectura y diseño podría explicarse debido a que su trabajo se relaciona mucho más con el medio ambiente, algo que no se ve tan claramente en las demás profesiones. Se destaca que la percepción de la experiencia personal sobre el cambio climático no guardó ninguna relación estadísticamente significativa con la puntuación de C&C. Asimismo, el género no guardó una relación estadísticamente significativa con la puntuación de C&C.

CONCLUSIONES

Esta investigación ha mostrado que los conceptos erróneos sobre el cambio climático previamente estudiados en la literatura están presentes en los estudiantes universitarios mexicanos. Además, hemos analizado la importancia relativa de dichos conceptos erróneos a través de un marco de congruencia e intercongruencia entre ellos, arrojando luz sobre la relevancia de los argumentos de apoyo a los conceptos erróneos y una metaestructura congruente del modelo conceptual. Como se ha mencionado anteriormente, se ha identificado que la concepción errónea más importante es la que representa diferencias a nivel ontológico con respecto al concepto correcto, podemos decir que un alumno que no presente estos dos errores conceptuales (agujero de la capa de ozono y efecto invernadero) será muy probablemente capaz de manejar información interrelacionada, lo que requiere una buena comprensión de los conceptos y sistemas implicados.

Las preguntas relativamente poco importantes (Q1, Q2, Q4, Q6 y Q7) no difieren a nivel ontológico del concepto científico y no aseguran que haya un malentendido de otros conocimientos. Estos resultados muestran que, en este aparente mar desordenado de preconcepciones y conceptos erróneos, hay dos que son fundamentales y que indican el estado de comprensión de los conceptos básicos del cambio climático en una población.

No existen cursos generales obligatorios ni otras acciones en la mayoría de las universidades, para que el conocimiento sobre el cambio climático mejore con el tiempo, lo que nos da una primera aproximación al nivel de conocimiento de los actuales responsables políticos que toman decisiones sobre políticas de inversión pública que afectan a todo un país. Por último, determinar las ideas erróneas más fuertes y las relaciones entre ellas ayudará a clarificar los objetivos de los cursos generales sobre el cambio climático, para hacer un mejor uso de los recursos, especialmente en los dirigidos a los estudiantes universitarios y de educación secundaria donde posiblemente se están empezando a formar estas ideas erróneas sobre el cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a los docentes de las Divisiones de Ciencias Sociales y Humanidades, de Ciencias y Artes para el Diseño, y de Ciencias Básicas e Ingeniería, que permitieron la aplicación de los 315 cuestionarios con los que se realizó este trabajo.

REFERENCIAS

- Bastien Montoya, G. M., Bastien-Olvera, B. A. y Gay-García, C. (2018). Percepción del cambio climático en alumnos universitarios. En *Compendio de Ciencia Aplicada*, 431-438. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.
- Bord, R. J., O'Connor, R. E. y Fisher, A. (2000). ¿En qué sentido necesita el público entender el cambio climático global? *Public Understanding of Science* 9, 205-218. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/9/3/301>.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Breiman, L. (2002). *Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1*. Tech. Rep., Departamento de Estadística, Universidad de California Berkeley, Estados Unidos de América. URL
- Chang, C.-H. y Pascua, L. (2016). Singapore students' misconceptions of climate change. *Investigación internacional en educación geográfica y ambiental* 25, 84-96. URL <https://doi.org/10.1080/10382046.2015.1106206>.
- Chi, M. T. H. y Roscoe, R. D. (2002). The Processes and Challenges of Conceptual Change. En Limon, M. y Mason, L. (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, 3-27. Springer Netherlands, Dordrecht. URL <https://doi.org/10.1007/0-306-47637-1>.
- De La Chaussée-Acuña, M. E. y Chazari-De La Chaussée, R. (2017). Las causas del cambio climático desde la perspectiva de estudiantes universitarios. En Calixto Flores, R. (ed.) *Investigaciones educativas en torno al cambio climático*, Horizontes Educativos. Universidad Pedagógica Nacional, Ciudad de México.
- Dutt, V. y González, C. (2012). Las decisiones por experiencia reducen las ideas erróneas sobre el cambio climático. *Journal of Environmental Psychology* 32, 19-29.
- Ferrari, M. y Chi, M. T. H. (1998). La naturaleza de las explicaciones ingenuas de la selección natural. *International Journal of Science Education* 20, 1231-1256. <https://doi.org/10.1080/0950069980201005>.
- Gareth, J., Daniela, W., Trevor, H., y Robert, T. (2013). *An introduction to statistical learning: With applications in R*. Springer.
- Gautier, C., Deutsch, K. y Rebich, S. (2006). Misconceptions About the Greenhouse Effect. *Journal of Geoscience Education* 54, 386-395. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-54.3.386>.
- Jacobson, M. J., Markauskaite, L., Portolese, A., Kapur, M., Lai, P. K., y Roberts, G. (2017). Designs for learning about climate change as a complex system. *Learning and Instruction*, 52, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.03.007>
- Karpudewan, M., Roth, W.-M. y Chandrakesan, K. (2015). Remediating misconception on climate change among secondary school students in Malaysia. *Environmental Education Research* 21, 631-648.
- Ramírez Vazquez, Y., y González Gaudiano, E. J. (2016). Representaciones sociales del cambio climático en estudiantes de dos universidades veracruzanas. CPU-e. *Revista de Investigación Educativa* 0-0.
- Rebich, S. y Gautier, C. (2005). Concept Mapping to Reveal Prior Knowledge and Conceptual Change in a Mock Summit Course on Global Climate Change. *Journal of Geoscience Education* 53, 355-365.
- Shepardson, D. P., Choi, S., Niyogi, D. y Charusombat, U. (2011). Seventh grade' mental models of the greenhouse effect. *Environmental Education Research* 17, 1-17. URL <https://doi.org/10.1080/13504620903564549>.
- Spellman, G., Field, K. y Sinclair, J. (2003). An Investigation into UK Higher Education Students' Knowledge of Global Climatic Change. *International Research in Geographical and Environmental Education* 12, 6-17. <https://doi.org/10.1080/10382040308667509>.
- Spence, A., Poortinga, W., Butler, C. y Pidgeon, N. F. (2011). Percepciones del cambio climático y disposición a ahorrar energía relacionadas con la experiencia de las inundaciones. *Nature Climate Change* 1, 46-49.
- Viennot, L. (1978). *Le raisonnement spontane en dynamique élémentaire*. Hermann, París.

Manuscrito recibido: 1 de septiembre de 2022

Manuscrito corregido-recibido: 27 de octubre de 2022

Manuscrito aceptado: 23 de noviembre de 2022