

TLALLI  
Revista de Investigación  
en Geografía

Tlalli

Revista de Investigación en Geografía  
UNAM

TLALLI  
Revista de Investigación  
en Geografía

AÑO 2

NÚMERO 3

2020

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

*Tlalli. Revista de Investigación en Geografía*

Año 2, Número 3, 2020

DIRECTORIO Y CONTACTO

**Directoras**

Patricia Eugenia Olivera Martínez

Leticia Gómez Mendoza

**Comité Científico**

Carles Carreras Verdager, Universidad de Barcelona

Amalia Inés Geraiges de Lemos, Universidad de São Paulo, Brasil

Luis Felipe Cabrales Barajas, cucsh, Universidad de Guadalajara

Graciela Martínez-Zalce, Centro de Investigaciones sobre América del Norte, UNAM

Rodrigo Hidalgo Dattwyler, Pontificia Universidad Católica de Chile

Bogumiła Lisocka-Jaegermann, Universidad de Varsovia

Ibán Díaz Parra, Geografía Humana, Universidad de Sevilla

**Comité Editorial**

Jesús Israel Baxin Martínez, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Montserrat Cayuela Gally, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

José Manuel Espinoza Rodríguez, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Leticia Gómez Mendoza, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Fabián González Luna, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Matheus Da Silveira Grandi, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Elizabeth Gutiérrez Romero, Centro de Investigaciones sobre América del Norte, UNAM

Patricia Eugenia Olivera Martínez, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Federico Saracho López, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Hugo Luna Soria, Universidad Autónoma de Querétaro

David Zermeño Díaz, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

*Tlalli. Revista de Investigación en Geografía*, no. 3, junio 2020, es una publicación semestral de acceso abierto editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Facultad de Filosofía y Letras, Ciudad Universitaria, Alcaldía de Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México. Teléfono: (55) 5622 1863. Correo electrónico: «[revista.tlalli@filos.unam.mx](mailto:revista.tlalli@filos.unam.mx)». Dirección web: «<http://revistas.filos.unam.mx/index.php/tlalli>». Editoras responsables: Dra. Patricia Eugenia Olivera Martínez y Dra. Leticia Gómez Mendoza. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: 04-2019-062713041400-203. ISSN: 2683-2275, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Sitio implementado por el equipo de la Subdirección de Revistas Académicas y Publicaciones Digitales de la Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial de la UNAM sobre la plataforma OJS3/PKP. El contenido de los artículos es responsabilidad de las y los autores y no refleja el punto de vista de la revista ni el de la UNAM. Se autoriza cualquier reproducción parcial o total de los contenidos de la revista, siempre y cuando sea sin fines de lucro o para usos estrictamente académicos, citando la fuente sin alteración del contenido y dando los créditos de autor correspondientes. Para otro tipo de reproducción escribir a «[revista.tlalli@filos.unam.mx](mailto:revista.tlalli@filos.unam.mx)». *Tlalli. Revista de Investigación en Geografía* no cobra a sus autores por publicar sus textos, ni a sus lectores por acceder a las publicaciones.

# TABLA DE CONTENIDOS

---

## ARTÍCULOS: SECCIÓN GENERAL

The Political Geographies of Migration: The Borders, from Static Lines to Mobile Entities MÓNICA ROMERO .....	8
La geografía de la educación para el siglo XXI BESSY STERLING .....	20

## ARTÍCULOS: SECCIÓN TEMÁTICA. CAMBIO CLIMÁTICO Y EVENTOS EXTREMOS: IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES

Posibles efectos del cambio climático en la región productora de cacao en Tabasco, México EDUARDO PÉREZ SOSA, GUADALUPE REBECA GRANADOS RAMÍREZ .....	39
Cuentas atmosféricas, una variable ambiental para la planificación territorial. Estudio de caso: Valle de Sogamoso, Bocayá, Colombia ALFONSO AVELLANEDA-CUSARÍA, DANIELA CAMELO-OLARTE, NATALIA VALBUENA-CHÁVEZ, ERNESTO CAETANO, CLEMENTE LÓPEZ-BRAVO .....	68
Mortalidad por influenza y neumonía en la Macrorregión del Centro de México: un análisis de sus tendencias y su distribución geográfico-climática DAVID MAXIMILIANO ZERMEÑO DÍAZ, LETICIA GÓMEZ MENDOZA, RODOLFO ACUÑA SOTO .....	97

**RESEÑAS**

DARTNELL, Lewis. *Origins: How the Earth Made Us*. Popular Science/History Collection. UK: Bodley Head.  
JOSÉ LUGO HUBP ..... 121

ANTIPODE EDITORIAL COLLECTIVE (EDS.). (2019). *Keywords in Radical Geography: Antipode at 50*. Hoboken: Willey Blackwell.  
DAVID HERRERA SANTANA ..... 124

# SECCIÓN GENERAL

## The Political Geographies of Migration: The Borders, from Static Lines to Mobile Entities

### *La geografía política de las migraciones: las fronteras, de líneas estáticas a entidades móviles*

Mónica ROMERO  
Wilfrid Laurier University  
Canada

#### **Abstract**

The article explores the border literature in political geography in order to understand the contemporary proliferation of bordering practices in the Western world. It takes the case of President Trump administration's policies to show how borders can be concealed in social and political practices inside of sovereign territory. This expansion of geographical borders continually shapes the sociospatial identities of migrants. The text also analyzes why the traditional bordering practice of building border walls is still an appealing resource aiming at keeping immigrants away from Western territories, even after the promise of a "borderless world" in the late 20th century. This article argues that the expansion of border walls is explained by the analysis of three factors: the transformations on the refugee protection framework after the 90s, the change in states' perception of refugees as a threat to Western societies, and the fear of states to be perceived as actors non-capable to maintain their sovereignty. These contemporary practices are consistent with recent debates in border theory that see the border as a mobile entity instead of a static territorial line separating two units of land. This article aims at fostering the idea of border studies as a way to unveil new forms of power and control. It also pretends to foster an understanding of the interconnectedness of border practices around the world.

**Keywords:** borders, border walls, migration, political geography, U.S. immigration

#### **Resumen**

Este artículo explora la literatura acerca de fronteras en la disciplina de la geografía política con el fin de entender la proliferación de prácticas fronterizas en Occidente. El artículo toma el caso de las políticas propuestas por la administración del presidente D. Trump para demostrar como las fronteras pueden ser ocultas en prácticas sociales

y políticas dentro del territorio soberano. Esta expansión de las fronteras geográficas moldea constantemente las identidades socioespaciales de los migrantes. Este artículo también analiza las razones por las cuáles la tradicional práctica de construir muros fronterizos es todavía atractiva para los gobiernos de Occidente con el fin de mantener a los migrantes lejos de sus territorios; a pesar de la visión de un mundo sin fronteras a finales del siglo XX. Este artículo argumenta que esta práctica sea explicada a través de tres factores: el análisis de las transformaciones en el sistema de protección para refugiados en los años 90, el cambio en la percepción de los Estados hacia los refugiados viéndolos como amenazas para las sociedades de Occidente y el miedo de los Estados a ser percibidos como entidades no capacitadas para mantener su soberanía. Estas prácticas contemporáneas son consistentes con los recientes debates en los estudios de fronteras que ven a las fronteras como entidades móviles y no como líneas territoriales estáticas que separan dos unidades de tierra. Este artículo tiene como objetivos fomentar la idea acerca de los estudios fronterizos como una manera de revelar nuevas formas de poder y control, así como ayudar a entender las interconexiones entre prácticas fronterizas alrededor del mundo.

**Palabras clave:** fronteras, muros fronterizos, migración, geografía política, política estadounidense

---

## Introduction

The recent decades of scholarly research in social science, particularly in political geography, have increasingly focused on migration and border security. The intensified mobility that expanded after the Second World War and the discourses surrounding its complex dynamics helped to explain a new distribution of power in the international agenda. This literature is relevant as it offers a new perspective to study how spaces become political and how power relations become visible when crossing strict mobility controls (Amilhat-Szary & Giraut, 2015). The study of borders has changed considerably over the years. In past decades, borders were seen as static lines located at states' edges that merely defined two or more territorial spaces.

While during the late 19th century, the approaches to understand borders were based on borders' morphology and typology, scholars after the 50s began to consider borders' functionality and its role in international conflicts and the creation of territorial identities (Kolossoy, 2005). After the 80s, there was an increasing pluralism in the study of borders, as several disciplines began to consider them relevant for their epistemological development. Scholars from different disciplines, from political geography to anthropology, studied the role of borders in national conflicts, cooperation, securitization, identity-formation, environmental problems, and their role as social constructs and regulators of transboundary flows.

In recent decades, fruitful discussions have enabled the expansion of critical views that understand borders not only as territorial elements but also as factors that shape deeper complexities in political and social life (Johnson, Jones, Paasi, Amoore, and Mountz, Salter, & Rumford, 2012). During the postmodern era, beyond traditional approaches and contrary to the realistic International Relations agenda, critical geographers began to challenge the idea of borders as fixed aspects that only territorially bounded nation-states. These approaches intensified after the 90s as globalization changed the role of borders in the international arena. Notably, during this decade, renewed interest in borders was centered in debates of globalization and its role in the erosion of both: borders and states' sovereignties. Contrary to what some people believed, scholars demonstrated that borders did not disappear, but they changed, mutated, and expanded towards different sites outside the states' limits. These modifications mean that governments are now stretching its borders beyond their territorial line using tools such as interdiction, offshore detention, third country agreements and increased visa requirements (Walters, 2004; Mountz, 2011; Hiemstra, 2012).

This literature creates a framework from which scholars can study different bordering practices. These rank from the heavy securitization of borders at the edge of the states to other more discursive boundaries, which are spread out along states' territory and that are also used to differentiate and categorize individuals. Thus, the border is now de-territorialized and has more significant impacts in more intimate spaces of social life. However, more critical interventions are needed to address the shift in the global discourse after the end of the Cold War that enabled the establishment of even stricter immigration controls. After a short remission of border walls in the 90s, the world started to experience a multiplication of boundaries and protectionist narratives in recent decades (Amilhat-Szary & Giraut, 2015). Although some scholars argue that borders are not always at the service of the state (Rumford, 2012), their relation to this entity should not be overlooked. Critical scholars should not forget the uniqueness of the states' boundaries and their capacity for re-asserting authority through legal means. Thus, scholars should not forget their natural essence as territorial dividers, fixers of identity, and delimitators of access. The rise of right-wing governments and restrictive immigration politics demonstrates that borders have not disappeared, but they are now encountered in multiple dimensions of space.

These dimensions were made more evident in North America by the election of President D. Trump in 2016 and the establishment of restrictive immigration policies. This article aims to offer an epistemological analysis of border research literature in political geography. The first section will explore the development and proliferation of bordering practices in non-traditional manners, taking Trump's actions against immigration in the last years as an example of 21st century bordering practices. The next section will focus on border walls and why different countries are building them even after the promise of a "borderless world" in the late 20th century. This section aims to offer a perspective of why traditional, heavy enforcement is appealing to governments that want to stop migrants' arrivals to their sovereign countries. Thus, while bordering

practices might be found in more hidden and concealed ways in social and political practices, other powerful and traditional bordering elements are still used to demonstrate states' power. This article aims to show how recent debates in political geographies offer powerful insights to explore contemporary bordering practices.

### **The proliferation of borders in non-traditional places: the case of Trump's administration immigration policies**

The increasing economic interdependence after the 90s changed the meaning of boundaries. Empirical research in the discipline has shown how borders are proliferating and how they are now encountered not only at the edge of the state encountered at the edge of the state and in different virtual and physical spaces (Amoore, 2006; Walters, 2006). Although globalization offered a new international landscape in which borders could be eroded, several geography scholars have demonstrated that a borderless world would be impossible as these are powerful elements of societal control. The increasing interdependence and speediness of communication have changed the meaning of boundaries; therefore, the traditional approach on borders related mainly to territoriality and geographic division is not enough to explain their influential role as social and political constructs (Newman & Paasi, 1998; Amoore, 2006; Jones, 2016). Critical theories in political geography have countered realistic International Relations approaches focused on functionalistic notions of the border and a static territorial bounded world idea.

This shift in how borders were perceived as situated in multiple spaces, offered new insights in how the dynamics of differentiation were not only carried out at the limits of the state (Newman & Paasi, 1998). The bordering practices are not only about geographical divisions between two states practices are about geographical divisions between two states and involve differentiation through discursive and iconographic landscapes. Thus, the media, nationalistic narratives, and cultural practices are part of governments' bordering performances (Johnson *et al.*, 2012). In the last decades, particularly after the 90s, the literature on border theory has changed significantly, offering scholars new critical perspectives to understand the politics of space and mobility.

During his years in office, President D. Trump has proposed and established aggressive policies aimed to 1) prevent new immigrants from arriving at the U.S. and 2) destabilize the life of immigrants that already lived in the U.S. territory. During and after his campaign, he made immigration the centerpiece of his discourse, appealing to the use of securitization as his primary strategy to combat U.S. international threats (Pierce & Selee, 2017). His nationalistic and populist views, particularly those related to keeping migrants away, perpetuates the idea in the contemporary world of the U.S. border as a hard line and heavily militarized, that aims to make a racial distinction between U.S. "good" citizens versus "bad" outsiders (Jones, 2016). Trump's immigration agenda is based on a violent view of enforcement through which he aims to protect American land.

Trump's immigration agenda restores the functional approach of borders aimed to separate and categorize populations based on race and ethnicity. He uses a territorialistic and violent view of enforcement through which he sees to protect American territory. However, Trump's actions in immigration policy also show how bordering practices are even more dispersed across the U.S. territory, including social practices and political discourses. He has enabled the hardening of previous traditional strategies, such as the border wall and employers' raids; nonetheless, these traditional methods of bordering now include groups of individuals that were not considered high-risk in previous administrations. Traditional immigrant communities in the U.S. have been affected with the suspension of their Temporary Protected Status (TPS) (e.g., Salvadorians, Nicaraguans, and Haitians) or the suspension of DACA (Deferred Action for Childhood Arrivals); however, individuals from other refugees sending countries have been affected by his proposed travel bans as well (e.g., Syrian, Somalis, Iranians). One of the most recent policies, which caused significant disapproval and criticism from other Western governments, was the separation of families at the US-Mexico border. As part of their "zero-tolerance policy," more than 2,000 children were separated from their parents (Cummings, 2019) and held in facilities near the border in poor conditions, making evident how these strategies are used to dehumanize people. Nowadays, the U.S. border has extended even more outside and inside U.S. territory: from the bodies of those people unable to travel to the U.S. due to the travel bans to the bodies of children waiting in detention living in substandard conditions. The establishment of different types of restrictions towards people that were not previously considered high-risk for the U.S. shows how the U.S. border during Trump's administration has proliferated to include new groups of people, spaces, agents, and regulations (Coleman, 2009; Cornelius, 2001).

On the other hand, Paasi (2009) and Walters (2004) emphasize the importance of associating bordering practices with political imaginations and the iconography of the state. The classical topographical perspective that portrays the state as a strong political body bounded and separated by hard lines from other spaces allows politicians to link their territory with the notion of *home*, that should be safeguarded from external threats. Trump's discourses follow this parallelism of the state to legitimize the proliferation of spatial and socio-spatial divisions in the U.S. Trump constant use of phrases like "protect America" and "protect the lives and safety of all Americans" aims to rationalize the expansion of a series of security measures in and beyond their territory by reducing immigrants' rights (Molnar & Silverman, 2016).

The aggressiveness of Trump policies in the contemporary political agenda in the U.S. as tightened immigration policies had been normalized during the last decades (Amoore, 2006). However, the use of travel documents, categorization of individuals through surveillance systems and deterrence at the border, are strategies that had been put into place before Trump was elected president in the U.S. Racially charged discourses and actions against "undesirable" groups of people offer new opportunities to study how these changes impact the governmentality of migration and migrants'

strategies to seek asylum. Thus, the study of the proliferation of discursive and physical borders in the U.S. can help explain the recent land crosses from the U.S. to Canada, the increasing of asylum petitions from Central Americans in Mexico, and the new dynamics of restrictive mobility that is lived worldwide in the 21st century.

### **The role of borders in constructing sociospatial identities**

Recent discussions in political geography have framed the borders as powerful elements that organize and transform social identities. Trump's policies demonstrate how borders are not merely a territorial notion of divisions, but they are also encountered in other hidden practices transforming sociospatial identities.

Borders and physical terrain are usually interrelated; however, recent debates started to consider boundaries as complex elements that construct social identities and reproduce power structures (Balibar, 2009; Parker & Vaughn-Williams, 2009; Rumford, 2012). Thus, governments have also implemented non-territorial borders that serve to complement their exclusionary practices. In this respect, Cuttitta (2015) argues, "there would be no migration controls if there were no territorial borders to protect, but only non-territorial status borders make it possible to determine from whom territorial borders should be protected" (241). Issues of power are relevant in this debate as the social construction of identities convey distinctions and add differences at personal, local, and national scales. As the border became increasingly mobile, immigrants' identities and experiences change more profoundly and more rapidly.

During Trump's administration, different groups of migrants saw their identities, and legal status changed from acceptable to high-risk threats for the American territory. Individuals that are part of DACA and TPS, those who were included in the travel ban, or the children that were separated by their families, not only were the target of xenophobic policies but also encountered the U.S. border in more profound and personal ways affecting their social and political identities. While in previous U.S. administrations, deportations were mainly focused on major offenders, now anyone who has minor offenses or those who have deported before, are also considered prime targets for removal. In this case, the border becomes more mobile, targeting those people who were not in high-priority categories and, thus, their chances of deportation increased considerably. The identities as authorized immigrants or quasi-citizens were transformed radically into a negative connotation due to these bordering practices. However, this is not the only challenge they confront as they also have to face personal changes by deportation to their countries of destinations to adapt to a community where they legally belong but not socially or emotionally. Thus, the border becomes more ubiquitous in their personal spaces.

The Trump administration's action makes distinctions between citizens and migrants more evident. Several scholars have explored how borders support some groups of people and disempower others, the outsider being always the target of these political

differentiations (Rumford, 2012). With the termination of DACA and the Temporary Protected Status of Salvadorians, Nicaraguans, and Haitians, the negotiations made by these individuals concerning social and political membership in the U.S. were also closed immediately. The main argument of the Trump administration is the protection of America from “illegal” outsiders; however, degrees of assimilations from these groups of immigrants are overlooked while implementing this type of policy. These exclusionary practices are related to otherness and racial differentiation that provide a basis for these power relations. Trump’s discourse fosters the idea that Salvadorians, Haitians, Mexicans, and Arabs, among others, lack of assimilation to the American society, making them the *Other*, while they have been living for decades in their territory. Therefore, as the border is targeting them, it changes the relationship between their identities and the political space they are living.

When the border is mobile and influences on their identities, it also becomes a portable element by immigrants. Immigrants are continually encountering material and non-material manifestations of the border regardless of their legal status. These mobile border manifestations are related to their identities and the status they hold in the country of destination. Hence, professional skills, language, race, and lack of citizenship shape their access to social and political life. Trump administration’s immigration policies made the border more visible and mightier for them after years of relative safeness of being deported to their countries of origin. Parts of their identities as outsiders, represented by a lack of citizenship, became more powerful once these bordering practices were enacted. Even after decades of living in America, the border never disappeared as immigrants are in constant interaction with the network of immaterial and material manifestations of the geographical boundary they crossed (Cuttita, 2015).

Trump’s aggressiveness in implementing these policies is specific to the contemporary political agenda in the U.S.; however, tightened immigration policies had become normalized long before he became president. His racially charged discourses and the increase of actions against “undesirable” groups of people offer new opportunities to study how these practices impact the international regulation of migration and migrants’ strategies to seek asylum. The raise of governments like Trump administration and his politics in immigration demonstrates that: 1) the conditions of international spatial ordering are related to human mobility control, and 2) borders have not been dematerialized, but they can be encounter in multiple dimensions of space.

### **The appeal of building border walls around the world**

Among his proposed initiatives, Trump’s campaign revolved around the expansion of the current US-Mexico border wall. However, the discourse of building a wall is not a recent strategy exclusive used in his administration. This technique has appealed to several governments around the world in order to stop the flow of

immigrants. According to Jones (2016), border walls have existed historically, but until the 90s and 2000s, the proliferation of walls became increasingly linked to the influx of immigrant journeying to the Global North. Although the first section of this article focuses on how borders expand in non-traditional ways, particularly in the U.S., the second section shows that one of the traditional ways of keeping immigrants away from sovereign territory is still considered and used by governments in the 21st century.

This section presents the arguments concerning the current fascination with building fences around the globe that can be explained by the analysis of the following factors: the transformations on the refugee protection framework after the 90s, the change in states' perception of refugees as threats to Western societies, and the fear of states to be perceived as non-capable actors to maintain their sovereignty. This section aims to provide useful insights into the changes on the international migration agenda that allowed and justified more restrictive and violent policies, like the construction of fences.

### **Transformations in the refugee protection framework after the 90s: immigrants becoming a threat**

After World War II, the dynamics of displacement changed the international governmentality of migration and the refugee protection framework. As thousands of Europeans had to migrate to other territories after the devastation caused by the war, the concept of refugee, and the principles to manage their movement emerged. During that time, asylum seekers' movements were more structured and regulated than today in contemporary migration (Papastergiadis, 2000). Because World War II caused the most significant displacement of the 20th century, ideas of resettlement began to take legal form around the world. For example, the establishment of the United Nations High Commission on Refugees in 1950 and the creation of the concept of refugee in the 1951 Refugee Convention sought relief for people fleeing the aftermath of the conflict. Although not all countries responded in a welcoming manner to the arrival of refugees during these years. However, the international response showed a sympathetic reaction towards these groups of individuals. This reaction established the basis for a more open international immigration system for refugees during the Cold War. Places such as the U.S., Australia, Canada, and West Europe offered sanctuary to refugees fleeing from Communist countries during the 60s and 70s (Wasserstein, 2011). However, these welcoming practices change at the century end, mainly with the conceptualization of illegal immigration during the 90s and the terrorist attacks in 2001. Table 1 shows a mapping of individuals' general movements after the second part of the 20th century. It also shows how states' responses went from partially open borders towards asylum seekers to the adoption of tightened security measures.

**Table 1**  
**Mapping of migratory movements after the Second World War**

Years	Era	Type of movement	States' responses
1950s - 1960s	Post-Second World War period	<p>-Migrants from semi-industrialized and peripheral countries arrived in Europe and other Western countries with contract labor schemes.</p> <p>-Migration of refugees that fled from Eastern Europe (communist regimes) to Western Europe, Canada, the US, and Australia.</p>	<p>-Migrants were used as contract laborers, but governments and employers established restrictions for social rights and citizenship, e.g., Bracero program and guest-worker in West Germany.</p> <p>-Institutionalization of the Human Rights and establishment of the concept of refugee (1951 Refugee Convention).</p>
1960s-1980s	Cold War	-Asylum seekers fled political instability in Latin America, the Soviet Union, and Africa.	<p>-Humanitarian perspective of refugees.</p> <p>-End of guest-workers programs: hardening of immigration policies against economic migrants.</p>
1990s	Globalization	-Economic migrants and asylum seekers shifted away from traditional destinations using irregular routes and new strategies provided by the new interconnected world.	<p>-Proliferation of the concept of "illegal migration" in political discourses.</p> <p>-Refugees began to be seen with suspicion (bogus refugee).</p> <p>-Assistance to refugees in their home countries ("preventive protection").</p>
2000s	Post-9/11	<p>-Diversifications of routes and strategies that migrants use.</p> <p>-New middle class and transnational migrants.</p>	<p>-Securitization after 9/11 (migrants/asylum seekers as criminals and terrorists).</p> <p>-Promote the arrival of high-skilled migrants.</p>

Note: Adapted from Castles & Miller (1998)

These changes from welcoming nations to protectionist states continue nowadays in the context of the global migration crisis as more restrictive methods of control have been enforced. The changes in the international migration system and the refugee protection framework around the world led to the acceptance of new strategies as elements to control the movement of people. Mainly after the 9/11, almost any action became justifiable. Security concerns were prioritized in Western states, and among these discourses, immigration became the centerpiece of these debates (Gilbert, 2012). As every method in immigration policies continues to fail, the border wall comes back as a way not only to deter migrants but also to show states' capabilities to maintain their territory safe theatrically. While the border wall usually represents a brutal and violent discourse, the international legal community still has not decided how to treat these as legal objects (Paz, 2016). This option shows that the liberal democracies' discourses related to human rights and refugee law that were predominant after World War II are now behind the protectionist and securitization accounts that prevail today.

## References

- AMILHAT-SZARY, Anne-Laure & GIRAUT, Frédéric (Eds.). (2015). *Borderities and the Politics of Contemporary Mobile Borders*. New York: Palgrave Macmillan.
- AMOORE, Louise. (2006). "Biometric Borders: Governing Mobilities in the War on Terror." *Political Geography*, 25(3), 336-351. doi.org/10.1016/j.polgeo.2006.02.001
- ANDERSON, Bridget. (2013). *Us and Them: The Dangerous Politics of Immigration Control*. Oxford: Oxford University Press.
- ARBEL, Efrat. (2013). "Shifting Borders and the Boundaries of Rights: Examining the Safe Third Country Agreement between Canada and the United States." *International Journal of Refugee Law*, 25(1), 65-86. doi.org/10.1093/ijrl/eet002
- BALIBAR, Étienne. (2009). "Europe as Borderland". *Environment and Planning D: Society and Space*, 27(2), 190-215. doi.org/10.1068/d13008
- BHANDAR, Davina. (2008). "Resistance, Detainment, Asylum: The Onto-political Limits of Border Crossing in North America." In E. Gilbert & D. Cowen (Eds.), *War, Citizenship, Territory*. New York: Routledge. 281-302.
- BIGO, Didier. (2002). "Security and Immigration: Toward a Critique of the Governmentality of Unease." *Alternatives: Global, Local, Political*, 27(1), 63-92. doi.org/10.1177/03043754020270S105
- BOSWORTH, Mary. (2008). "Border Control and the Limits of the Sovereign State." *Social & Legal Studies*, 17(2), 199-215. doi.org/10.1177/0964663908089611
- BROWN, Wendy. (2010). *Walled States, Waning sovereignty*. MIT Press.
- CASTLES, Stephen & MILLER, Mark. (1998). "Migration to Highly Developed Countries since 1945." In Stephen Castles, Hein De Haas, & Mark J. Miller (Eds.). *The Age of Migration*. London: Palgrave. 67-103.
- COLEMAN, Mathew. (2009). "What Counts as the Politics and Practice of Security, and Where? Devolution and Immigrant Insecurity After 9/11." *Annals of the*

- Association of American Geographers*, 99(5), 904-913. doi.org/10.1080/00045600903245888
- COLEMAN, Mathew & STUESSE, Angela. (2014). "Policing Borders, Policing Bodies: The Territorial and Biopolitical Roots of US Immigration Control." In Reece Jones & Corey Johnson (Eds.), *Placing the Border in Everyday Life*. Farnham, UK: Ashgate. 33-67.
- CORNELIUS, Wayne. (2001). "Death at the Border: Efficacy and Unintended Consequences of US Immigration Control Policy." *Population and Development Review*, 27(4), 661-685. doi.org/10.1111/j.1728-4457.2001.00661.x
- CUMMINGS, Elijah. (2019). "Child Separation by the Trump Administration." US House of Representatives. Retrieved on 3 July 2019 from <https://oversight.house.gov/sites/democrats.oversight.house.gov/files/2019-07-2019.%20Immigrant%20Child%20Separations-%20Staff%20Report.pdf>
- CUTTITTA, Paolo. (2015). "Territorial and Non-territorial: The Mobile Borders of Migration Controls." In A. Amilhat & F. Giraut (Eds.), *Borderities and the Politics of Contemporary Mobile Borders*. New York: Palgrave Macmillan. 241-258.
- DEPILLIS, Lydia; SALUJA, Kulawnt; & LU, Denise. (2015, December 21). "A Visual Guide to 75 Years of Major Refugee Crises around the World." *The Washington Post* (online). Retrieved on 20 June 2019 from <https://www.washingtonpost.com/graphics/world/historical-migrant-crisis/>
- GILBERT, Emily. (2012). "Borders and Security in North America." In Jeffrey Ayres & Laura Macdonald (Eds.), *North America in Question: Regional Integration in an Era of Economic Turbulence*. Toronto: University of Toronto Press. 197-215.
- HIEMSTRA, Nancy. (2012). "Geopolitical Reverberations of US Migrant Detention and Deportation: The View from Ecuador." *Geopolitics*, 17(2), 293-311. doi.org/10.1080/14650045.2011.562942
- HYNDMAN, Jennifer. (2000). *Managing Displacement: Refugees and the Politics of Humanitarianism*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- JOHNSON, Corey; JONES, Recce; BROWN, Wendy; POPESCU, Gabriel; PALLISTER-WILKINS, Polly; MOUNTZ, Alison; & GILBERT, Emily. (2017). "Interventions on the State Sovereignty at the Border." *Political Geography*, (59), 1-10. doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.02.006
- JOHNSON, Corey; JONES, Recce; PAASI, Anssi; AMOORE, Louise; MOUNTZ, Alison; SALTER, Mark; & RUMFORD, Chris. (2012). "Interventions on Rethinking 'the Border' in Border Studies." *Political Geography*, 30(2), 61-69. doi.org/10.1016/j.polgeo.2011.01.002
- JONES, Recce. (2012). *Border Walls: Security and the War on Terror in the United States, India, and Israel*. New York: Zed Books Ltd.
- JONES, Recce. (2016). *Violent Borders: Refugees and the Right to Move*. New York: Verso Books.
- KOLOSISOV, Vladimir. (2005). "Border Studies: Changing Perspectives and Theoretical Approaches." *Geopolitics*, 10(4), 606-632. doi.org/10.1080/14650040500318415

- MOLNAR, Petra & SILVERMAN, Stephanie. (2016). "Cracks Where the Lights Gets In: Recent Legal Breakthroughs in Detention and Crimmigration in Canada". *Metro-politics*. Retrieved on 13 July 2019 from <http://www.metropolitiques.eu/Cracks-Where-the-Light-Gets-in.html>
- MOUNTZ, Alison. (2010). *Seeking Asylum: Human Smuggling and Bureaucracy at the Border*. U of Minnesota Press.
- MOUNTZ, Alison. (2011). "Specters at the Port of Entry: Understanding State Mobilities through an Ontology of Exclusion". *Mobilities*, 6(3), 317-34. doi.org/10.1080/17450101.2011.590033
- NEWMAN, David & PAASI, Anssi. (1998). "Fences and Neighbours in the Postmodern World: Boundary Narratives in Political Geography." *Progress in Human Geography*, 22(2), 186-207. doi.org/10.1191/030913298666039113
- PAPASTERGIADIS, Nikos. (2000). *The Turbulence of Migration*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- PARKER, Noel & VAUGHAN-WILLIAMS, Nick. (2009). "Lines in the Sand? Towards an Agenda for Critical Border Studies". *Geopolitics*, 14(3), 582-587. doi.org/10.1080/14650040903081297
- PASSI, Anssi. (2009). "Bounded Spaces in a 'Borderless World': Border Studies, Power and the Anatomy of Territory". *Journal of Power*, 2(2), 213-134. doi.org/10.1080/17540290903064275
- PAZ, Moria. (2016). "Between the Kingdom and the Desert Sun: Human Rights, Immigration, and Border Walls." *Berkeley Journal of International Law*, 34(1), 1-43. doi.org/10.15779/Z380P11
- PIERCE, Sarah & SELEE, Andrew. (2017). *Immigration under Trump: A Review of Policy Shifts in the Year Since the Election*. Washington, D.C.: Migration Policy Institute.
- ROSENBLUM, Mark & HIPSAM, Faye. (2016). *Border Metrics: How to Effectively Measure Border Security and Immigration Control*. Washington, D.C.: Migration Policy Institute.
- ROSIÈRE, Stéphane & JONES, Recce. (2012). "Teichopolitics: Re-considering Globalisation through the Role of Walls and Fences." *Geopolitics*, (17): 217-234. doi.org/10.1080/14650045.2011.574653
- VALLET, Elisabeth. (2014). *Borders, Fences and Walls: State of Insecurity?* Burlington: Ashgate.
- WALTERS, William. (2004). "Secure Borders, Safe Heaven, Domopolitics." *Citizenship Studies*, 8(3), 237-260. doi.org/10.1080/1362102042000256989
- WALTERS, William. (2006). "Rethinking Borders beyond the State". *Comparative European Politics*, (4), 141-59. doi.org/10.1057/palgrave.cep.6110076
- WASSERSTEIN, Bernard. (2011, February 17). *European Refugee Movements after World War Two*. BBC (online). Retrieved on 12 August 2019 from [http://www.bbc.co.uk/history/worldwars/wwtwo/refugees\\_01.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/worldwars/wwtwo/refugees_01.shtml)

# La geografía de la educación para el siglo XXI

## *The Geography of Education for the 21st Century*

Bessy STERLING

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

### **Resumen**

La finalidad de este artículo es analizar los campos de estudio de la geografía de la educación, y educación comparada, sus puntos en común y diferencias. Se revisan los antecedentes y los avances en la geografía de la educación, principalmente en los países europeos, donde tiene un mayor desarrollo, de acuerdo con la obra existente; asimismo se examinan los conceptos básicos de su campo de estudio, sus herramientas y los temas que aborda, mencionando los principales geógrafos dedicados a este campo de la geografía. Se profundiza sobre la importancia de la geografía de la educación y cómo se nutre de la educación comparada y de diversos campos, tanto de la geografía humana, como de las ciencias sociales en general, de manera que se manifiesta su naturaleza multidisciplinaria e interdisciplinaria. Con base en las revisiones de la obra de geógrafos europeos y latinoamericanos el artículo concluye señalando la importancia de realizar nuevos estudios de geografía de la educación en otras regiones del mundo para contribuir en la solución de los numerosos problemas educativos, ya que los trabajos de investigación llevados a cabo por educadores, por lo general carecen de la dimensión espacial que aporta la geografía.

**Palabras clave:** geografía de la educación, educación geográfica, educación comparada

### **Abstract**

The purpose of this article is to analyze the fields of study of the Geography of education, the comparative and Comparative education, their common points, and differences. The antecedents and the advances in the Geography of education are reviewed, mainly in the European countries, where it has a greater development, according to the existing work. Likewise, the basic concepts of their field of study, his tools, and the topics they address are examined, mentioning the main geographers dedicated to this field of geography. The importance of the geography of education and how it is

nourished by comparative education and various fields, both in human geography and in the social sciences in general, will be explored in a way that manifests its multidisciplinary and interdisciplinary nature. Based on the reviews of the work of European and Latin American geographers, the article concludes by pointing out the importance of conducting new studies of educational geography in other regions of the world to contribute to the solution of numerous educational problems, since the research work carried out by educators, they generally lack a spatial dimension provided by geography.

**Keywords:** geography of education, geographical education, comparative education

---

## Introducción

El presente artículo tiene como propósito responder a las siguientes preguntas de investigación ¿Qué diferencias y puntos en común tienen los campos de estudio de la geografía de la educación, la educación geográfica y la educación comparada? ¿Cuáles son los antecedentes y los principales avances de la geografía de la educación? ¿Qué conceptos básicos y herramientas utiliza y cuáles son los temas que se abordan en la geografía de la educación? ¿Cuál es la utilidad e importancia de realizar más estudios de geografía de la educación en otras regiones del mundo? Para contestar lo anterior se realizó una investigación bibliográfica y cibergráfica seleccionando aquellos materiales y su análisis crítico para resaltar sus contribuciones para la solución de diversos problemas educativos y su papel social transformador en el siglo XXI.

En primer lugar, se presentan los antecedentes de la geografía de la educación, sus diferencias y similitudes con la educación geográfica y la educación comparada. Posteriormente se analizan los avances actuales en geografía de la educación, principalmente de geógrafos europeos, porque han sido los más prolíficos; en sus artículos y en la revisión de la literatura fue notable la reducida proporción de trabajos de investigación elaborados en otras regiones del mundo con respecto a los realizados en el continente europeo. La búsqueda se realizó en la Biblioteca Digital de la UNAM, UNESDOC Biblioteca Digital y en buscadores como Google Académico, Redalyc, Scielo, ResearchGate y Dialnet, entre otros. Cabe aclarar que este artículo no pretende presentar el estado del arte de la geografía de la educación en el mundo, será objeto de otro estudio de análisis crítico de las escuelas y autores. La finalidad es introducir al lector a un campo de estudio emergente. Finalmente, se destaca la importancia de realizar investigaciones en todo el mundo sobre la geografía de la educación e investigaciones aplicadas, principalmente en los países en desarrollo, entre otras razones, para promover la educación ambiental, para tratar problemas epistemológicos de la geografía, para destacar los conflictos por el territorio.

## Antecedentes de la geografía de la educación

Antes de pasar a los antecedentes de la geografía de la educación, cabe hacer mención que en todos los materiales consultados escritos en inglés se le designa como *geography of education*, véase Taylor (2009), Brock (1976, 2013b, 2016) y Brock y Symaco (2016). Por otra parte, la información bibliográfica sobre geografía educativa, no la registra como campo de estudio de la geografía, sino de estudios de otras disciplinas que la emplean como sinónimo de distribución territorial o para designar una visión de la educación desde la perspectiva de las ciencias sociales. Ejemplo de esto se encuentra en “Aproximación teórica a la geografía educativa, política y comunicativa contemporánea” de Martínez, Salgado y Moreno (2016). El contenido del artículo no aborda una perspectiva geográfica, los autores pretenden articular de manera teórica la visión humanista de la educación, de la política y de la comunicación, como ciencias, disciplinas o campos de estudio, desde una perspectiva cualitativa y teórico-conceptual; sin embargo, en ningún momento se aborda la dimensión espacial. El término “geografía educativa” sugiere que hay un ámbito de interés de la ciencia geográfica que puede aplicarse a la educación en todos los niveles educativos, por ejemplo: la educación sobre las transformaciones históricas de los territorios habitados, o bien como parte de la educación ambiental, haciendo una clara referencia en ambos casos al estudio de fenómenos y procesos educativos considerando la dimensión espacial.

“¿Por qué no una geografía de la educación?”, se preguntaron los geógrafos británicos Gerald Hones y Raymond Ryba en una reunión de la Unión Geográfica Internacional (UGI) realizada en Toronto en 1972, en la cual señalaron que los estudios geográficos pueden ser tan gratificantes para los investigadores como los que se realizan en otros campos de la geografía social y cultural; adujeron que la ausencia de trabajos de investigación en la materia, llevados a cabo por geógrafos, contrastaba con los trabajos realizados por educadores, sin embargo carecían de la sofisticación metodológica geográfica. Asimismo, afirmaron que los estudios acerca de la geografía de la educación serían relevantes para la planificación de espacios educativos y, además, que podían ser utilizados en el campo de la educación geográfica, mediante actividades didácticas de investigación en el entorno escolar (Hones y Ryba, 1972).

En el siglo XXI los grandes volúmenes de datos sobre fenómenos educativos que se generan en la sociedad de la información —la cual se encuentra en transición hacia la sociedad del conocimiento— pueden ser analizados desde una perspectiva geográfica empleando tecnologías como los SIG, GPS, a través del GIS&T para conocer los procesos que tienen lugar en el mundo actual y pueden ser llevados a los espacios educativos para el estudio de el área de influencia, así como los diversos factores que los producen y sus consecuencias en el conocimiento y modelado del espacio geográfico (Di Biase *et al.*, 2006), como lo muestran las numerosas publicaciones del National Center for Research in Geography of Education de la Asociación de Geógrafos Americanos.

Los resultados de las investigaciones de la geografía de la educación pueden contribuir a la toma de decisiones que coadyuven a mejorar la educación para alentar el mejoramiento de la situación socioeconómica en los países subdesarrollados, donde la población en situación de pobreza crece continuamente, persistiendo los problemas educativos a pesar de las numerosas reformas educativas, para el logro de mejores resultados cognitivos y la participación activa por parte de los estudiantes en todos los niveles educativos para transformar su entorno.

## Los exponentes de la geografía de la educación

A partir del pronunciamiento de Hones y Ryba en 1972 quedaron de manifiesto dos campos de estudio de la geografía que se encuentran estrechamente ligados entre sí: la geografía de la educación y la educación geográfica. La primera forma parte de la geografía y se encarga del estudio de los espacios educativos; mientras que la segunda corresponde al campo pedagógico, la investigación sobre las mejores formas de enseñar y de aprender geografía, de acuerdo con las necesidades educativas del siglo XXI. Con respecto a la primera, a lo largo del siglo XX hubo avances notables a nivel mundial, gracias al trabajo de los geógrafos de la Unión Geográfica Internacional y al Foro Iberoamericano de educación geográfica. ¿Pero qué sucedió con respecto a los avances en la geografía de la educación como especialidad de la ciencia geográfica? De acuerdo con la revisión bibliográfica y cibergráfica realizada, que se presentará más adelante, este campo de la geografía continuó desarrollándose ampliamente hasta nuestros días en los países europeos; mientras que en los países subdesarrollados los geógrafos dieron un mayor impulso a la educación geográfica, dejando de lado a la geografía de la educación. Entre ellos sobresale el colombiano Oscar Buitrago (2005), quien ha publicado numerosos artículos como “La educación geográfica para un mundo en constante cambio”, donde explora las aportaciones de la ciencia geográfica en la formación de los individuos.

Es común entre algunos investigadores considerar que la geografía de la educación y la educación comparada son campos que se corresponden entre sí. Analicemos las principales diferencias entre un campo de estudio de la educación y otro de la geografía. Fue Debesse quien definió por primera vez la educación comparada como “geografía de la educación” (Debesse citado en García, 1997: 72). Sin embargo, Debesse la concebía sobre todo como una descripción de los sistemas educativos, como una especie de geografía educacional descriptiva, de modo parecido a lo que podría ser otra rama de estudio, como la geografía económica. El intento de Debesse podría suponer una metodología educativa encuadrada dentro del enfoque racionalista-técnico (García, 1997: 72). García (1997) considera como enfoque racionalista-técnico al neopositivismo y propone que la educación comparada debe basarse en epistemologías y metodologías que permitan comprender en profundidad los fenómenos educativos y que no se limiten a la mera comparación estadística.

Por supuesto que las concepciones epistemológicas y metodológicas, tanto de la educación comparada como de la geografía de la educación han evolucionado y, aunque tienen similitudes, también poseen diferencias. Si bien es cierto que ambas estudian la educación en los ámbitos regional, nacional o internacional, sus perspectivas son distintas a partir de su método y su campo de estudio. Rojas y Navarrete (2010) señalan que la educación comparada es un ámbito teórico metodológico que ha cobrado importancia a partir de los procesos de internacionalización y globalización económica; estas autoras plantean que entre sus propósitos destaca el análisis de sistemas diversos, tales como los económicos, políticos, jurídicos y educativos, entre otros, con la finalidad de comparar regiones o países de tal forma que permitan detectar problemas comunes y soluciones probadas, sus tendencias y procesos de convergencia y divergencia. La relevancia de la educación comparada consiste en que estos estudios permiten identificar tendencias y procesos educativos que se plasman o son resultado de políticas educativas en diferentes países, lo cual contribuye a la toma de acuerdos en reuniones y conferencias internacionales acerca de los mismos.

De acuerdo con lo anterior, podemos inferir que tanto la educación comparada como la geografía de la educación poseen un carácter interdisciplinar y una dimensión espacio-temporal; sin embargo, mientras la dimensión espacio-temporal posee un carácter contextual en la educación comparada, en la geografía de la educación esta dimensión es parte esencial de su campo de estudio. El campo disciplinar de la educación comparada queda de manifiesto en palabras de Elvia Villalobos y Consuelo Trejo (2017), quienes afirman que este campo es el referente obligado para entender los contextos en donde se desarrolla el fenómeno educativo, proporcionan la base para la adquisición del carácter innovador de la educación, al hallar los puntos de fortaleza propios y adaptar los valores que le han sido ajenos. Las autoras indican que el sujeto de la educación comparada es el ser humano —como naturaleza viva y perfectible— y su objeto de estudio son los sistemas educativos como realidad cambiante. Con respecto a la metodología de la educación comparada “algunos pedagogos comparativistas se han ocupado ampliamente de los fundamentos teóricos del método comparativo en pedagogía, en orden a justificar la validez de este como método científico. Este es el caso de Franz Hilker y de George Z. F. Bereday” (Santamaría, 1983); en cambio, la geografía de la educación no se limita a establecer comparaciones espaciales, sino que desarrolla una metodología propia para los fines educativos en el análisis geográfico.

Por su parte, Pere Roselló (1974) señala que la comparación puede ser de carácter estático o dinámico y Francisco Santamaría (1983) menciona que en este campo de estudio intervienen diversas variables del proceso educativo, por lo que el investigador se enfrenta a un complejo sistema de interacciones en el que la educación comparada deberá tener, quizá como objetivo fundamental, aportar luz sobre la problemática educativa desde perspectivas diferentes, como los enfoques en el proceso de enseñanza-aprendizaje, las variaciones de los estudiantes matriculados, el grado de eficiencia terminal, el porcentaje de alfabetismo y el grado máximo de estudios, entre otros.

Santamaría (1983) argumenta que toda comparación debe suponer *a priori* una desigualdad o diferencia, se debe realizar con criterios cuantitativos o cualitativos para ordenar y relacionar las diferentes variables objeto de estudio como las mencionadas en el párrafo anterior, con la finalidad de descubrir por qué se presentan estos resultados de convergencia y de divergencia; así como las diversas relaciones que pueden establecerse, bajo parámetros cualitativos, conceptuales, ideológicos, o cuantitativos, patrones, modelos.

Un aspecto relevante que aborda Santamaría respecto a la educación comparada se refiere al enfoque hacia el conocimiento exhaustivo de la realidad social y cultural, sin dejar de lado otras perspectivas, como la realidad económica. La comparación tiene un carácter inductivo, a partir de variables específicas, pero tiende hacia la unificación o generalización para agrupar las diferencias encontradas. Santamaría señala que toda comparación debe entenderse como un conjunto de relaciones e interrelaciones que puedan llevar al investigador educativo a pronósticos educativos (Santamaría, 1983: 65). Para este autor existen pocas diferencias entre las metodologías propuestas por George Bereday (1968) y France Hilker (1964) —siendo el primero más enfocado al campo sociológico, mientras que Hilker a los estudios filosóficos y pedagógicos—, pero ambos coinciden en que el método de la educación comparada consta de cuatro etapas:

1. Aunque la primera etapa ha sido denominada descripción, dicho término no refleja debidamente el sentido de este primer paso, porque se trata de conseguir un conocimiento amplio de las realidades educativas que se pretende comparar: infraestructura escolar, niveles educativos, métodos de enseñanza, libros de texto, programas de estudio, material escolar y teorías pedagógicas entre otras. Asimismo, se analiza la recogida de datos, tanto de fuentes documentales como de trabajo de campo. La parte final de esta fase es denominada por Bereday (citado en Santamaría, 1983: 65) como “geografía de la educación” y consiste en la organización de los datos obtenidos en tablas construidas según categorías analíticas preestablecidas. Cabe aclarar que esto ha provocado que algunos investigadores, como Debessé-Mialaret (1974, citado en García, 2012) consideren la sinonimia entre la geografía de la educación y la educación comparada.
2. La interpretación consiste en detectar y corregir inconsistencias y errores en los datos recopilados en la etapa anterior, además de analizarlos de manera pormenorizada. Lo anterior implica el uso de diversos enfoques y métodos propios de las ciencias sociales frecuentemente de la sociología, la antropología, la política y la economía, entre otras, con la finalidad de indagar puntos de vista disciplinarios sobre los datos de carácter pedagógico que se han obtenido. Estos datos externos al ámbito educativo contribuyen a comprender las causas, relaciones e interrelaciones que permitan la correcta interpretación explicativa de los hechos educativos.
3. En la yuxtaposición ya no sólo se observan las semejanzas y diferencias, sino que se trata de relacionar lo que Santamaría (1983) denomina conjuntos paralelos.

Es la parte inductiva del método, ya que se busca detectar el carácter unificador o generalizador de las características en las que se fundamenta la comparación. Esta etapa facilita conocer las distintas alternativas o soluciones específicas que se plantean en relación con el objeto de estudio.

4. La última etapa es la comparación, que consiste en una evaluación de resultados, a la que se llega con base en el desarrollo de las etapas anteriores. En ella se muestran las conclusiones, de manera sintética.

Algunos estudios de educación comparada se limitan a establecer comparaciones entre diversas variables educativas utilizadas por los distintos países a escala nacional, enfoque que ha sido criticado por autores como García (1997), quien considera que las comparaciones entre estados nacionales no son congruentes con el proceso de globalización económica existente que modela relaciones en esa escala. Otro autor interesado en una perspectiva geográfica dentro de sus investigaciones de educación comparada es el filósofo y pedagogo suizo Pierre Furter (1996). En su artículo “La educación comparada como geografía de la educación. Cuestiones teóricas sobre la planificación de la regionalización de la enseñanza”, Furter realizó un estudio donde introdujo importantes reflexiones de carácter geográfico sobre la regionalización de la enseñanza. El autor señala que al estudiar el sistema global es necesario diagnosticar y prever el desarrollo de los subsistemas que ponen en evidencia la importancia de la integración territorial, ya sea a escala nacional, regional o local de las diferentes acciones educativas entre sí y con otros factores espaciales que condicionan el uso y la formación del conjunto de los ciudadanos ubicados en un territorio determinado.

Furter considera que, al estudiar las dimensiones espaciales de la práctica, así como las innovaciones y las reformas educativas, se deben tener en cuenta las relaciones sobre las políticas educativas entre los Estados-nación. Cuando éstas se llevan a cabo a nivel nacional existen discontinuidades espaciales que obligan a singularizar estrategias. “El centralismo esconde siempre la voluntad de reducir la pluralidad de los mundos al propio, al familiar y al ya conocido, intenta, en resumen, conducirlo todo hacia sí” (Furter, 1996: 95). De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación presentada en su artículo, Furter afirma que los diagnósticos nacionales no reconocen las singularidades regionales y los territorios no son unidades homogéneas, porque existen diferentes maneras de percibir y modelar el espacio donde se vive. El autor señala que esa es la razón por la cual un mismo currículum tiene una aplicación diferente en distintos lugares o regiones de un mismo país. Los planteamientos de Furter son especialmente relevantes con respecto a la aplicación de reformas educativas, las cuáles pueden ser bien o mal recibidas de acuerdo con las singularidades de cada región, porque cada una posee su propia realidad étnica, social, económica y política. Por ejemplo, en una región con predominio de población indígena, será más importante que los materiales educativos estén escritos en su lengua nativa, antes de la implementación de la enseñanza del idioma inglés.

## Las contribuciones de la geografía de la educación

Uno de los autores más prolíficos en el campo de la geografía de la educación es el geógrafo Colin Brock (1976), quien considera que la geografía debe estar al servicio de la educación comparada, debido al carácter interdisciplinar de esta última, y ha realizado varios artículos y libros publicados por la UNESCO, haciendo equipo con especialistas en educación comparada, como Francisco López Segrera. Entre dichas obras se encuentran “Educación y dimensión de los países: el universo de los pequeños estados” (Brock y López, 1988); *La Educación Superior en América Latina y el Caribe 2008. Principales tendencias y desafíos* (López, Brock y Dias, 2008) y *La Universidad ante los desafíos del siglo XXI* (López, Brock y Dias, 2010).

Para definir las relaciones entre ambos campos, retomaré nuevamente a Pierre Furter (1996), autor que analizó varios textos de geógrafos anglosajones y franceses para definir la geografía de la educación como la disciplina que estudia la influencia de los factores geográficos, como la localización o la accesibilidad, en el desarrollo de un sistema educativo; consideró el estudio de los efectos que puede producir un sistema educativo sobre un medio ambiente o el espacio en que se desarrolla y, sobre todo, las relaciones conflictivas que se establecen en el reparto territorial de las ofertas educativas. En esta definición de Furter se observan claramente algunas similitudes y diferencias entre la educación comparada y la geografía de la educación. La educación comparada busca como su nombre lo indica, las diversas comparaciones entre fenómenos educativos, que presentan una afinidad o proximidad geográfica o histórica en un contexto espacio-temporal. Aun cuando la geografía de la educación también investiga su objeto de estudio en un contexto espacio-temporal, se enfoca en los hechos educativos en sí mismos, en sus manifestaciones en el espacio geográfico y en la influencia de sus componentes sobre los sistemas educativos. De tal forma, que el objeto de estudio de la geografía de la educación –la influencia de los factores geográficos y su inserción en los procesos educativos y en el análisis de las manifestaciones espaciales de dichos procesos– es diferente, y su metodología también.

Una similitud importante es que tanto la educación comparada como la geografía de la educación realizan estudios donde se emplean diversas variables de carácter cuantitativo o cualitativo y buscan encontrar una explicación o solución de sus respectivas problemáticas de estudio, a partir de la comprensión de sus causas y sus interrelaciones. Entre las variables de los estudios de educación comparada se hallan las políticas y enfoques pedagógicos, los indicadores de calidad en los países y regiones, y entre las variables que comparten la geografía de la educación y la educación comparada, el alfabetismo, programas de estudio, eficiencia terminal y deserción escolar.

En 1972, a partir del llamado realizado por Hones y Ryba en Toronto a la comunidad geográfica, se creó un grupo de trabajo en la Comisión de Educación Geográfica de la UGI para establecer una especialidad en geografía de la educación (Brock, 2013a). Retomando el llamado, Colin Brock (2013b), en su artículo “The geography of education and comparative education”, analizó el papel de la geografía en el servicio de la

educación comparada y en 1984 presentó dos aportaciones a la geografía de la educación bajo la influencia de Peter Haggett (1972). En primer lugar, Brock consideró los tres enfoques analíticos de Haggett en la geografía de la educación: el análisis espacial, el análisis ecológico y el análisis regional complejo. El enfoque espacial lo aplicó al análisis de los patrones de localización de las actividades educativas; el enfoque ecológico, para estudiar la variabilidad de la vida según la ubicación, incluyendo el trabajo de los colegios agrícolas en relación con la conservación del paisaje; y con respecto al análisis regional complejo, se refirió a las instituciones educativas como puntos de crecimiento económico en un contexto regional. En segundo lugar, basado en un modelo espacial de Rex Walford (1973), Brock también ejemplificó las actividades educativas en el espacio geográfico representadas como líneas, puntos y superficies. Las líneas las utilizó para entender los trayectos de la escuela a la casa; los puntos, para la ubicación de instituciones educativas y las superficies, para localizar clústeres y zonas educativas de distintos niveles de enseñanza dentro de las ciudades y a escala regional.

Por su parte, en su artículo “Towards a Geography of Education”, Chris Taylor (2009) llevó a cabo importantes reflexiones acerca del estado del arte de las contribuciones de la geografía en las investigaciones educativas. Señaló que ha habido un uso considerable y creciente de las ideas geográficas en la investigación en educación; sin embargo, en muchos casos ese uso no va más allá de la utilización del vocabulario de la geografía, no se emplean los variados principios y nuevas metodologías de la ciencia geográfica (véase Urquijo y Bocco, 2015). Lo anterior puede comprobarse en algunos enfoques metodológicos de la educación comparada como la llamada *Cartografía Social* de Paulston, propuesta en 1995. De acuerdo con García (1997), esa metodología consiste en ilustrar de manera gráfica, pero no en un mapa geográfico, las relaciones entre conceptos, grupos sociales, instituciones con múltiples visiones sobre la educación y las prácticas sociales.

Por otra parte, Taylor afirmó que tanto la geografía como la educación, debido a su naturaleza multidisciplinar, siempre han tenido fuertes conexiones con otras disciplinas de las ciencias sociales básicas, como la sociología, la economía y la ciencia política. Efectivamente, la geografía humana integra aportaciones del pensamiento teórico, como la “producción del espacio” del filósofo Henri Lefebvre (1974, 1976), por mencionar algunas. Esto se debe a que en la práctica y la investigación se pierden los límites difusos entre las ciencias. Por otra parte, el estudio de los procesos educativos requiere contextualizarlos en los ámbitos social, cultural, político y económico. No se puede comprender un proceso educativo, como la deserción escolar, sin analizar su contexto económico y social. Para Taylor (2009) son escasas las redes formalmente reconocidas o comunidades de práctica en la interfaz entre la geografía y la educación. En este sentido, Taylor reconoce a varios autores cuyas aportaciones a la geografía de la educación considera como las más relevantes. Uno de los primeros trabajos donde se conjuntaron la geografía y la educación fue el de Bondi y Matthews, *Educación y sociedad: estudios en la política, la sociología y la geografía de la educación*, publicado en 1988 (citado en Taylor, 2009: 653). Este trabajo consistió en un conjunto de diez

ensayos sobre políticas y aspectos sociales de la educación analizados desde una perspectiva geográfica. Después de este primer trabajo se desarrollaron otros como *Las teorías espaciales de Educación: cuestiones de política y geografía* de Kalervo N. Gulson y Colin Symes, (citado en Taylor 2009: 653). Taylor añade que numerosos trabajos de investigación educativa se realizaron bajo la influencia de sociólogos como Pierre Bourdieu y Basil Bernstein, los cuales utilizan un lenguaje con nociones y conceptos espaciales, pero no llevan a cabo efectivamente un análisis geográfico. En cambio, en la geografía se han realizado análisis espaciales en la investigación educativa con base en las ideas de Henri Lefebvre y Bourdieu, como veremos (Barringo, 2013).

En su obra *La producción del espacio*, Henri Lefebvre señala que "...cada sociedad (en consecuencia, cada modo de producción con las diversidades que engloba, las sociedades particulares donde se reconoce el concepto general) produce un espacio, su espacio" (Lefebvre, 2013: 90). Más adelante el autor señala que:

En realidad, el espacio social incorpora los actos sociales, las acciones de los sujetos tanto colectivos como individuales que nacen y mueren, que padecen y actúan. Para ellos, su espacio se comporta a la vez vital y mortalmente: se despliegan sobre él, se expresan y encuentran en él prohibiciones; después mueren, y ese mismo espacio contiene su tumba. Desde la perspectiva del conocimiento, el espacio social funciona —junto a su concepto— como instrumento de análisis de la sociedad" (Lefebvre, 2013: 93).

Las ideas y postulados de Lefebvre han influenciado reflexiones en la investigación en la geografía de la educación. Por ejemplo, en "Espacialidad y educación. Aportes para la construcción de ambientes educativos no violentos", el costarricense José Méndez (2011) señala que "El espacio no es sólo lugar de desplazamiento (dimensión espacialista). La forma en que interactuamos con el espacio y en que lo configuramos, tiene que ver también con la manera en que interactuamos con los demás (dimensión ético-política) y con la construcción de conocimientos (dimensión cognitiva-pedagógica)" (43). Más adelante añade que

Para Henri Lefebvre, en las espacialidades se reproducen relaciones de producción, por lo cual, el espacio vivido nunca es neutro ni puro, hay una producción intencional de espacios. Las espacialidades se construyen, se inventan, se reinventan; son objeto de planeación, de modelación, de configuración, de percepción, de interpretación. A su vez, las espacialidades son —siguiendo a Lefebvre (1976)— representaciones que condicionan las subjetividades mediante los discursos, el poder, los símbolos, los saberes. Somos sujetos en el espacio y estamos condicionados por él. (Méndez, 2011: 44-45)

Asimismo, Méndez (2011) incorpora algunas reflexiones de las ideas de Lefebvre para referirse a la escuela como una construcción social, cargada de significados y señala que el marco histórico donde se desenvuelven los procesos educativos es

particular de cada país y condiciona lo que sucede en los ambientes educativos, por lo que la escuela es un lugar de relaciones de poder multidireccionales que generan procesos diversos y hasta contradictorios, como asimilación, resistencia, reelaboración, identidad, rechazo, lealtad. A partir de estos argumentos analiza los fenómenos relacionados con la violencia en los ambientes educativos y plantea la reconstrucción de espacialidades a partir de la transformación de las pedagogías de los espacios educativos, desde una perspectiva intercultural. La publicación de *El derecho a la ciudad* de Henri Lefebvre (1968) cuestionó a los investigadores educativos sobre los derechos a los que la población debería acceder en las ciudades, entre ellos los servicios educativos. Asimismo, los hizo preguntarse sobre qué sectores de la población tienen acceso a ellos y cuáles no, surgiendo la perspectiva de inclusión de género, de allí que las feministas de diversas disciplinas buscan responder a esas interrogantes.

En *La producción del espacio*, Henri Lefebvre (1974) presenta en su dialéctica del espacio la caracterización del espacio percibido, del espacio vivido y del espacio concebido. El espacio percibido es material y refiere la realidad cotidiana, el espacio vivido da cuenta del imaginario y lo simbólico y el espacio concebido se nutre de las representaciones sociales que puede representarse cartográficamente y sobre el cual actuamos para transformarlo. Este enfoque ha sido muy utilizado en la educación geográfica, más que en la geografía de la educación, adquirió una gran importancia en los planes y programas de estudio de la educación básica en países como España y México, debido a que sus programas de estudio están estructurados bajo el enfoque constructivista, en el cual el estudiante tiene que interactuar con el medio que le rodea y atribuir un significado a lo que aprende. Otro geógrafo relevante, Edward Soja, ha retomado la dialéctica del espacio en su obra *Tercer espacio: viajes a los Ángeles y otros lugares reales o imaginados* (1996), donde considera al tercer espacio de una manera diferente a la concepción de Lefebvre (1974). Para Soja el tercer espacio es una forma radicalmente diferente de mirar, interpretar y actuar para cambiar la espacialidad de la vida humana. Considera que el tercer espacio es al que le damos significado; es un espacio cambiante al cual experimentamos en nuestro diario vivir (Soja, 2008).

La dialéctica del espacio no sólo ha sido considerada en los planes y programas de estudio de educación básica, sino también en la investigación sobre educación geográfica. Días y Monteleone (2017) plantean la importancia metodológica de la dialéctica de Soja en la enseñanza de la geografía para la construcción del campo geohistórico de la enseñanza de las ciencias sociales, porque consideran que además del espacio percibido y que se enseñaban tradicionalmente, Soja incorpora el espacio concebido; lo que permite que los estudiantes asignen su propio significado al espacio donde viven.

En cuanto a los planteamientos de Taylor (2009), el autor contribuye con un concepto geográfico fundamental en la investigación educativa, el concepto de escala. Se refiere a la escala operativa como aquella que permite comprender los diferentes niveles de un fenómeno y de procesos que una geografía de la educación se ocuparía de estudiar, considerando las siguientes escalas: el alumno, el sitio de aprendizaje (escuela, hogar), la comunidad de estudiantes (barrio), autoridad local-región, gobierno

central-país e internacional. El autor señala que la escala operativa del alumno se estudia en sus aspectos psicopedagógicos y desde la perspectiva de género; la del sitio de aprendizaje desde una perspectiva relacional o arquitectónica; la escala de la comunidad de estudiantes se estudia desde perspectivas de segregación residencial, gentrificación, los entornos vecinales, los procesos de aprendizaje, la relación entre el nivel de instrucción y el vecindario, entre otros. En las escalas local y regional se han estudiado el acceso desigual a la educación y se han llevado a cabo estudios de logro diferencial. En la escala nacional se realizan estudios de planeación educativa; en la escala internacional se llevan a cabo numerosos estudios comparativos, en una gran variedad de tipos y formas de investigación, desde lo descriptivo hasta la predicción, desde lo teórico a lo empírico; desde la pequeña a la gran escala y con diversidad de objetos y acciones en su énfasis en el espacio, el lugar y la configuración regional.

De acuerdo con Taylor (2009), la educación debe prestar una atención creciente a su naturaleza geográfica, incluyendo las relaciones que se establecen entre: el plan de estudios, los mercados de trabajo y la globalización; la educación y la movilidad espacial; los ambientes, el aprendizaje y el ejercicio físico. Añade que: “Además, con los contextos sociales, culturales, económicos y políticos del cambio educativo, surgirán ‘nuevas’ geografías de la educación. Este ámbito epistemológico pone de relieve, no solo el contexto sino la posición psicopedagógica frente a éste” (Taylor, 2009: 657). El autor también puntualiza la importancia de la comprensión de las relaciones socio-espaciales entre los participantes del proceso educativo, entre el hogar y entre otros sitios formales e informales de aprendizaje. Asimismo, menciona el interés en la investigación educativa a partir del creciente uso de los mapas digitales, junto con otras representaciones espaciales, así como el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta metodológica para el análisis espacial por parte de los investigadores en educación, para visualizar y analizar de manera interactiva los datos espaciales. Además de permitir un mayor acceso a la información, estas tecnologías permiten observar los datos de diferentes formas, como a través de la realidad virtual. También acompañada de la evolución de la estadística espacial permite los análisis de redes, análisis de espacio-tiempo y análisis estadísticos ponderados geográficamente. A poco más de una década después de que Taylor escribiera su artículo se han desarrollado nuevas tecnologías que pueden contribuir al desarrollo de la geografía de la educación como los drones, la realidad aumentada y los dispositivos vestibles (*wearable technology*), que facilitarán la obtención de información; pero con nuevos enfoques y perspectivas ante los graves problemas que la humanidad enfrenta en la actualidad, como la desigualdad socioeconómica y el deterioro ambiental, entre muchos otros.

La antigua visión positivista ha cedido su lugar a estudios de carácter cualitativo, donde adquieren importancia las representaciones mentales de los sujetos de estudio a nivel individual o social. Hoy más que nunca, la geografía puede aportar importantes conocimientos a la comprensión de la espacialidad de innumerables aspectos educativos en todas sus escalas, pero sobre todo en la escala local, en el contexto de las escalas nacional y mundial, dada la interacción que hay entre dichas escalas debido al

proceso de globalización económica. Otra visión más actualizada sobre la geografía de la educación, la ofrecen los dos libros más recientes de Colin Brock. El primero es *Geography of Education: Scale, Space and Location in the Study of Education* (2016), el cual inicia con una breve historia de la geografía de la educación, a través de un examen de varios artículos publicados en tres revistas: *Geographical Journal*, *Transactions of the Institute of British Geographers* y *Area*.<sup>1</sup> En estos trabajos se identifica el interés sustancial en la educación por parte de los geógrafos en el papel que juega respecto al espacio en la producción y el consumo de la educación. Luego revisa las contribuciones de la geografía y las conecta con la investigación educativa y proporciona valiosos ejemplos de cómo la geografía puede proporcionar contexto a los problemas educativos. Por ejemplo, considera que la geografía cultural tiene contenidos cercanos a la geografía de la educación, porque la educación se basa en la cultura. En esta obra el autor señala que las actividades del trabajo de campo son esenciales para vincular los problemas educativos con las subdisciplinas geográficas, para lo cual presenta una revisión de varios artículos que vinculan la estructura de la población, la distancia, el género y el acceso desigual a la educación.

Por otro lado, Brock retoma y desarrolla conceptos importantes como escala, espacio, lugar, núcleo/periferia y nodo/redes, como construcciones útiles para comprender patrones de desigualdades y los procesos que los producen. Aplica estos conceptos a diferentes escalas mediante varios ejemplos. El autor también aborda la internacionalización de la educación y los flujos de estudiantes a diferentes escalas. Además, hace referencia a lugares de restricción y preocupación, como los campos de refugiados, los lugares de pobreza extrema y las personas sin hogar, sin embargo, el libro es de carácter descriptivo y no presenta resultados. Asimismo, Brock examina el efecto de Internet en las geografías de la educación en términos de sostenibilidad ambiental, con una visión optimista del papel del conocimiento, del poder y la competencia económica en la toma de decisiones curriculares y la formación ciudadana. De esta manera, el autor nos introduce a los problemas y conceptos de actualidad relacionados con la geografía de la educación. En *Space, Place and Scale in the Study of Education* (2016), Brock, junto con Symaco, coordina la publicación de varios autores relacionados con la geografía de la educación. Originalmente el libro fue publicado como una obra de educación comparada; sin embargo, los artículos incluyen los antecedentes teóricos y una muestra de situaciones relacionadas con el campo de la geografía.

Otro trabajo que muestra avances en la geografía de la educación es “La segregación digital en América Latina y el Caribe”, de Jeffer Chaparro (2007). Se trata de un estudio publicado por la Universidad de Barcelona en el cual se incorporan diversas variables sociales, económicas y políticas relacionadas con dicha segregación digital, para relacionarlas entre sí, como la desigualdad social, las políticas neoliberales y la falta

<sup>1</sup> Destacan los artículos de Castree (2011), Stannard (2003), Dobson y Stillwell (2000), y Jazeel y McFarlane (2010).

de impulso a la innovación y la creación de patentes, lo que trae como consecuencia la “fuga de cerebros”. Otra investigación reciente que incorpora elementos de análisis a los temas que aborda la geografía de la educación es “La movilidad internacional por razones de estudio” (Bermúdez, 2015), donde la autora colombiana realiza un análisis de flujos internacionales de estudiantes de posgrado, con base en estadísticas de la UNESCO, integrando el estudio sobre migraciones internacionales, fenómeno creciente y por tanto para el estudio de las motivaciones de los educandos y las condiciones socioculturales, políticas de los sitios de arribo.

Con base en lo expuesto anteriormente se proponen algunas aplicaciones que podrían tener las investigaciones de geografía de la educación en los países en desarrollo. Al interior de países como México, los estudios de educación comparada pueden diagnosticar los avances y rezagos sobre diversos aspectos educativos, como la aprobación, la eficiencia terminal y la deserción escolar, entre muchos otros; pero no todos ellos pueden dar cuenta de los factores locales y regionales que intervienen en la variabilidad de los resultados, como el aislamiento, las redes de comunicaciones y transportes o la ruralidad, por lo que carecen de una dimensión espacial. Las investigaciones de geografía de la educación, realizadas a escala local y regional, en el contexto nacional y mundial, contribuirán al conocimiento de las realidades de cada lugar y servirán de base para implementar reformas educativas de una manera más adecuada y así lograr, en una mayor medida, los resultados esperados. El contraste, la Reforma Educativa implementada en México bajo el gobierno de Enrique Peña Nieto (2012-2018) fue mal recibida por los docentes, sobre todo en los estados con altos índices de pobreza, porque tuvo un enfoque temático de escala nacional sobre la calidad educativa, considerando los deficientes resultados obtenidos por los adolescentes en las pruebas internacionales *Programme for International Student Assessment* (PISA), sin considerar las necesidades regionales de los docentes y de los estudiantes, con la finalidad de lograr una mayor equidad en las condiciones laborales de los primeros y la equidad en el acceso y los resultados de la educación para los segundos, con miras a una mayor igualdad social. En lugar de ello, los docentes fueron sometidos a pruebas punitivas para garantizar la permanencia en sus plazas de trabajo, cuya dificultad estaba muy por encima de la capacitación recibida en países desarrollados, como España, el no tomar en cuenta a los docentes en la planeación de las reformas educativas, mediante estudios regionales y locales, ha provocado que la implementación de dichas reformas educativas haya fracasado.

Para que una reforma educativa tenga éxito debe ser planeada tomando en cuenta la realidad regional y la realidad local tanto de los docentes como de los estudiantes. Es indispensable que antes de proponer que los estudiantes adquieran competencias tecnológicas, deben contar con una escuela bien construida con servicios de luz y agua. Además, toda reforma educativa debe ser implementada gradualmente, para que los docentes puedan asimilarla y participar en ella de una manera proactiva.

Las investigaciones regionales y locales de geografía de la educación, llevadas a cabo por equipos interdisciplinarios, podrían contribuir a conocer las realidades regio-

nales y locales, tanto de docentes como de alumnos, para poder planear las reformas educativas adecuadamente. Asimismo, dichos estudios podrían ir evaluando las diferentes etapas de implementación de dichas reformas.

Otra forma de aplicación de la geografía de la educación consistirá en llevar a cabo estudios de distribución de los espacios educativos de nivel superior, a escala nacional, regional o estatal, con la finalidad de configurar redes y planear el establecimiento de *clústeres* de investigación y desarrollo, con la finalidad de lograr una mayor innovación en diversos procesos de producción de carácter sustentable y, al mismo tiempo, para alcanzar una mayor competitividad en los mercados internacionales y, con ello, mejorar el acceso al empleo y la calidad de vida de la población.

## Conclusiones

La geografía de la educación ha tenido un avance constante desde la década de 1970, principalmente en los países europeos y latinoamericanos, aunque con límites difusos con la educación comparada. En esos países se han publicado numerosos estudios locales y regionales y se les ha dado un mayor impulso a los estudios de educación comparada por parte de los pedagogos, y los referentes a la educación geográfica, por parte de los geógrafos.

De acuerdo con Holloway y Jöns (2012) existen pocos estudios de geografía de la educación sobre los problemas de los países subdesarrollados, un área de análisis necesario y fundamental para el siglo XXI. La UNESCO ha realizado varios estudios de educación comparada, de carácter interdisciplinario sobre diferentes regiones de los países en desarrollo, con la participación de geógrafos, pero aún faltan estudios geográficos. En los países subdesarrollados los trabajos de investigación sobre problemas educativos a diferentes escalas son primordialmente investigaciones de educación comparada y los escasos trabajos autonombrados como geografías de la educación en realidad no lo son, aunque algunos se aproximan a ellas.

Existen algunas investigaciones aplicadas de geografía de la educación y educación geográfica que han sido inspiradas por las obras de Henri Lefebvre y Edward Soja, quienes sostienen que el espacio es una construcción social y que las relaciones sociales son constitutivas de dicho espacio, donde tienen lugar relaciones de poder y que tienen relevancia tanto la escala global, como las escalas regional y local. La contribución de estos autores en el ámbito de la educación geográfica consiste en que la trialectica del espacio es un aspecto esencial en la enseñanza de la geografía.

La dimensión espacial de los problemas educativos difícilmente puede ser abordada por investigadores de educación comparada, sin la lectura o el trabajo colaborativo con los geógrafos. Lo anterior se afirma porque el trabajo de Furter se vio influenciado por la lectura de geógrafos anglosajones y franceses, y el de López Segrera consistió en un trabajo colaborativo con Brock para desarrollar los estudios regionales en la UNESCO (1988).

Las investigaciones de la geografía de la educación pueden contribuir a la comprensión y a la toma de decisiones en los países subdesarrollados para solucionar diversos problemas educativos en las escalas local, estatal, regional y nacional, como la planeación de reformas educativas; los problemas de equidad en el acceso a la educación desde diferentes perspectivas (social, económica, de género, étnicos, por discapacidad); el análisis de la localización de los espacios educativos desde el nivel básico hasta el superior, para lograr una mayor equidad en el acceso y los resultados de la educación; el análisis de los espacios educativos de nivel superior y la planeación de establecimiento de los *clústeres* de investigación y desarrollo, con la finalidad de ser más innovadores en la producción sustentable y más competitivos en los mercados internacionales, para mejorar la calidad de vida de la población; así como para dar solución a los problemas de reproducción social de las localidades, a partir de la mejora de los resultados educativos, entre otros.

Los problemas educativos que pueden abordarse desde la geografía de la educación son diversos y consideran variables espaciales que por lo general no son tomadas en cuenta por los estudios de educación comparada. Así, la geografía de la educación puede contribuir en gran medida a la comprensión y a la toma de decisiones para solucionar los problemas relacionados con la educación en su dimensión espacial, sobre todo si se tiene en cuenta que los estudios locales son escasamente abordados por la educación comparada y cuyos enfoques son por lo general de tipo cuantitativo y a escala nacional, sin considerar el contexto regional en el marco de la globalización económica.

Por otra parte, la geografía de la educación puede realizar contribuciones importantes a los estudios de educación comparada y a otros estudios sociales de carácter multidisciplinario e interdisciplinario al dar cuenta de la dimensión espacial de diversos fenómenos educativos.

Los geógrafos del siglo XXI podríamos hacernos la misma pregunta que se hicieron los geógrafos Hones y Ryba en la década de 1970 ¿Por qué no fomentar una geografía de la educación? Respondiendo a la pregunta a través de investigaciones de dicho campo, con trabajos colaborativos en equipos interdisciplinarios, utilizando enfoques epistemológicos, metodológicos y tecnológicos del siglo XXI que contribuyan a resolver las problemáticas nacionales y latinoamericanas que enfrentamos en la actualidad. Investigaciones con enfoques que estén al servicio del mejoramiento de la calidad de vida y la equidad social en los países en desarrollo y no meros trabajos comparativos sobre calidad educativa, con enfoques que utilicen las nuevas tecnologías, pero no desde una perspectiva neopositivista, sino desde una perspectiva crítica.

## Bibliografía

BARRINGO, David. (2013). “La tesis de la producción del espacio en Henri Lefebvre y sus críticos: un enfoque a tomar en consideración”. *QUID16 Revista de Estudios*

- Urbanos del Instituto de Investigación Gino Germani de la Facultad de Ciencias Sociales (UBA), Argentina. doi.org/10.1080/03050068.2013.803818*
- BEREDAY, George. (1968). *El método comparativo en pedagogía*. Barcelona: Herder.
- BERMUDEZ, Rosa. (2015). “La movilidad internacional por razones de estudio: Geografía de un fenómeno global”. *Migraciones internacionales*, 8(1), 95-125.
- BROCK, Colin. (1976). “A Role for Geography in the Service of Comparative Education”. *Compare: A Journal of Comparative and International Education*, 6(1), 35-36. doi.org/10.1080/0305792760060109
- BROCK, Colin. (1988). “Educación y dimensión de los países: el universo de los pequeños estados”. *Perspectivas. Revista trimestral de educación*, XVIII(3). 317-330.
- BROCK, Colin. (2013a). “Comparative Education and the Geographical Factor”. *Journal of International and Comparative Education*, 2(1), 9-17.
- BROCK, Colin. (2013b). “The Geography of Education and Comparative Education”. *Comparative Education*, 49(3), 275-289. doi.org/10.1080/03050068.2013.803818
- BROCK, Colin. (2016). *Geography of Education. Scale, Space and Location in the Study of Education*. New York: Bloomsbury Academic.
- BROCK, Colin; y SYMACO, Lorraine. (2016). *Space, Place and Scale in the Study of Education*. New York: Routledge.
- BUITRAGO, Oscar. (2005). “La educación geográfica para un mundo en constante cambio”. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, X(561), 41-57. 10.25100/eg.v0i3.3574
- BUTLER, Tim; y HAMNETT, Chris. (2007). “The Geography of Education: Introduction”. *Urban Studies*, 44(7), 1161-1174. doi.org/10.1080/02F00420980701329174
- CASTREE, Noel. (2011). “The Future of Geography in English Universities”. *Geographical Journal*, 177(4), 294-299. doi.org/10.1111/j.1475-4959.2011.00412.x
- CHAPARRO, Jeffer. (2007). “La segregación digital en América Latina y el Caribe: reflejo de las inequidades sociales y la dependencia tecnológica”. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 245(23).
- DI BIASE, David; DEMERS, Michael; JOHNSON, Ann; KEMP, Karen; LUCK, Ann Taylor; PLEWE, Brandon; y WENTZ, Elizabeth. (2006). *Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge*. Washington: Association of American Geographers.
- DÍAS, Rodrigo; y MONTELEONE, Adrian. (2017). “La construcción del saber geohistórico en el aula: la pareja pedagógica y el desafío de pensar la articulación de conocimientos en el área de ciencias sociales”. *Kimün, Revista Interdisciplinaria de Formación Docente*, III(4), 149-165.
- DOBSON, Janet; y STILLWELL, John. (2000). “Changing Home, Changing School: Towards a Research Agenda on Child Migration”. *Area*, 32(4), 395-401. doi.org/10.1111/j.1475-4762.2000.tb00155.x
- FURTER, Pierre. (1996). “La educación comparada como ‘geografía de la educación’. Cuestiones teóricas sobre la planificación de la regionalización de la enseñanza”. En Miguel Pereyra y Jesús García Mínguez (Comp.), *Globalización y descentra-*

- lización de los sistemas educativos. Fundamentos para un nuevo programa de la educación comparada.* Barcelona: Ediciones Pomares-Corredor. 93-114.
- GARCÍA, José. (1997). “La educación comparada en una sociedad global”. *Revista Española de Educación Comparada*, (3), 61-81.
- GARCÍA, José. (2012). *La Educación Comparada en tiempos de globalización.* Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- HAGGETT, Peter. (1972). *Geografía. Una síntesis moderna.* Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- HILKER, France. (1964). *La pédagogie comparée. Introduction à son histoire, sa théorie et sa pratique.* Paris: Institut Pédagogique National.
- HOLLOWAY, Sarah; y JÖNS, Heike. (2012). “Geographies of Education and Learning”. *Transactions of Institute of British Geographers*, 37(4), 482-488.
- HONES, Gerald; y RYBA, Raymond. (1972). “Why Not a Geography of Education?”. *Journal of Geography*, 71(3), 135-139. doi.org/10.1080/00221347208981469
- JAZEEL, Tariq; y McFARLANE, Colin. (2010). “The Limits of Responsibility: A Post-Colonial Politics of Academic Knowledge Production”. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 35(1), 109-124. doi.org/10.1111/j.1475-5661.2009.00367.x
- LEFEBVRE, Henri. ([1974] 2013). *La producción del espacio.* Barcelona Capitán Swing.
- LEFEBVRE, Henri. (1976). *Espacio y política.* Barcelona: Editorial Península.
- LEFEBVRE, Henri. ([1968] 2017). *El derecho a la ciudad.* Madrid: Capitán Swing.
- LÓPEZ, Francisco; BROCK, Colin; y DIAS, José. (2008). *La educación superior en América Latina y el Caribe 2008. Principales tendencias y desafíos.* Brasil: Editorial de la Universidad de Sorocaba.
- LÓPEZ, Francisco; BROCK, Colin; y DIAS, José. (2010). *La universidad ante los desafíos del siglo XXI.* Paraguay: Centro Paraguayo de Estudios Sociológicos (CPES).
- MARTÍNEZ, Katia; SALGADO, Diego; y MORENO, Anyela. (2016). “Aproximación teórica a la geografía educativa, política y comunicativa contemporánea”. *Encuentros*, 14(2), 191-209. dx.doi.org/10.15665/re.v14i2.774
- MÉNDEZ, José Mario. (2011). “Espacialidad y educación. Aportes para la construcción de ambientes educativos no violentos”. *Siwó' Revista De Teología/Revista De Estudios Sociorreligiosos*, 5(4), 41-60.
- PAULSTON, Rolland. (1995). “Mapping Knowledge Perspectives in Studies of Educational Change”. En Peter Cookson Junior y Barbara Schneider (Org.), *Transforming Schools.* New York: Garland. 137-179.
- ROJAS, Ileana; y NAVARRETE, Zaira. (2010). *Educación comparada: reflexiones para la construcción de una metodología de investigación en Educación Comparada. Perspectivas y casos.* Ciudad Victoria: Planeación Educación y Asesoría S.A. de C.V.
- ROSELLÓ, Pere. (1974). *Teoría de las corrientes educativas.* Barcelona: Promoción Cultural.
- SANTAMARÍA, Francisco. (1983). “El fundamento de la metodología comparativa en educación”. *Educar*, (3), 61-75.

- SOJA, Edward. (2008). *Postmetrópolis. Estudios críticos sobre las ciudades y las regiones*. Madrid: Traficante de Sueños.
- STANNARD, Kevin. (2003). "Earth to Academia: On the Need to Reconnect University and School Geography". *Area*, 35(3), 316-322. doi.org/10.1111/1475-4762.00181
- TAYLOR, Chris. (2009) "Towards a Geography of Education". *Oxford Review of Education*, 35(5), 651-669. doi.org/10.1080/03054980903216358
- URQUIJO, Pedro; y BOCCO, Gerardo. (2015). "Pensamiento geográfico en América Latina: retrospectiva y balances generales". *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (90), 155-175. doi.org/10.14350/rig.47348
- VILLALOBOS, Elvia; y TREJO, Consuelo. (2017). *Fundamentos teórico-metodológicos para la educación comparada en Educación comparada internacional y nacional*. Madrid: Plaza y Valdés.
- WALFORD, Rex. (1973). *Nuevas direcciones en la enseñanza de la geografía: actas de transferencia*. Reino Unido: Longman.

## Posibles efectos del cambio climático en la región productora de cacao en Tabasco, México

### *Possible Effects of Climate Change on the Cocoa Producing Region of Tabasco, Mexico*

Eduardo PÉREZ SOSA\*

Programa de Posgrado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Guadalupe Rebeca GRANADOS RAMÍREZ

Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

#### **Resumen**

La producción de cacao en México ubica al país como uno de los principales productores a nivel mundial. Tabasco es la entidad que mayor superficie destina a su producción, con cerca de 40,869 ha, concentrándose principalmente en la subregión de la Chontalpa. El objetivo de este trabajo es calcular los indicadores agroclimáticos para el ciclo reproductivo del cacao y sus posibles alteraciones bajo escenarios de cambio climático (RCP4.5)<sup>1</sup> en el horizonte de tiempo 2015-2039. Para la floración del cacao, en la región productora de Tabasco, se requiere un promedio de 926 unidades fototérmicas (u.f.), 1,130 u.f. para la fructificación, y 1,047 u.f en la etapa de madurez, además, se requieren aproximadamente 2,760 unidades calor (u.c.) para completar el ciclo reproductivo, y nueve meses de periodo húmedo con menos de dos meses de déficit hídrico en el suelo. Por lo que las condiciones climáticas en la región de la Chontalpa son las adecuadas para el ciclo fenológico del cacao. Los resultados de los escenarios de cambio climático muestran que las temperaturas aumentarán en ese lapso en promedio 1°C, mientras que las precipitaciones disminuirán entre 100 y 200 mm del total anual, con 4 a 5 meses de precipitaciones menores a 100 mm. Este escenario climático ocasionaría un aumento en la evapotranspiración potencial (ETP) entre 3 y 5 meses (entre enero y mayo) y los posibles efectos del déficit hídrico por efectos del cambio

\* Estudiante de la Maestría en Geografía.

<sup>1</sup> La ruta de concentración representativa (RCP) 4.5 es un escenario que estabiliza el forzamiento radiactivo a 4.5 W m<sup>-2</sup> en el año 2100 sin exceder ese valor. Simulado con el Modelo de Evaluación de Cambio Global (GCAM), RCP4.5 incluye emisiones globales a largo plazo de gases de efecto invernadero, especies de vida corta y uso de la tierra en un marco económico global.

climático en la fenología del cacao son: la inhibición de la floración, la producción de vainas más pequeñas y la madurez temprana del fruto.

**Palabras clave:** cacao; requerimientos agroclimáticos; cambio climático

## **Abstract**

Cocoa production in Mexico places the country as one of the leading worldwide producers. The state of Tabasco has the largest cocoa cultivated field area with 40,869 ha, clustered in Chontalpa. The main objective of this study consisted of calculating agroclimatic indicators for the cocoa reproductive cycle and its alterations under RCP4.5 climate change scenarios in the 2015-2039 horizon. In the Tabasco producing region, an average of 926 photothermal units are needed for the flowering of cocoa; 1 130 units for fruiting; and in the maturity stage 1,047 units; in addition, approximately 2,760 heat units are required to complete the reproductive cycle, and at least nine months of wet period with less than two months of soil water deficit. Therefore, Tabasco's region is an ideal location for this crop. Climate change scenarios show modifications in the current climatic conditions. Temperatures will rise 1°C on average; however, the annual rainfall amount will decrease between 100-200 mm, as well, its inter-annual variation 4-5 months with less than 100 mm of rainfall will appear. As a result of this potential evapotranspiration between January and May will increase. The possible effects that the water deficit due to climate change can cause on cocoa's phenological cycle can become an impediment of flowering, size pod reduction, and early ripe fruit.

**Keywords:** cocoa; agroclimatic requirements; climate change

---

## **Introducción**

La producción de cacao en México lo ubica en el 13° lugar entre los países productores a nivel mundial, con una aportación de 27,287 toneladas anuales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018). Costa de Marfil, Ghana e Indonesia son territorios que ocupan los primeros lugares con más del 70% de la producción a nivel mundial (International Cocoa Organization [ICCO], 2018). Actualmente, México satisface el 41.22% de los requerimientos nacionales con producción interna, lo que significa una dependencia de importaciones provenientes de Ecuador, Costa de Marfil, República Dominicana, Colombia y Ghana (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2017; SIAP, 2018). Para México, se estima un aumento en el consumo del 76.97% y un aumento en la producción del cacao en 19.49% para 2030 (SAGARPA, 2017). Los estados de Tabasco, Chiapas,

Guerrero y Oaxaca son los principales productores de cacao en el país (SIAP, 2018). Tabasco encabeza la producción nacional con 17,430 toneladas al año en 40,869 ha y obtuvo rendimientos entre 0.45 y 0.47 ton/ha en promedio entre 1999 y 2017 (SIAP, 2017; SIAP, 2018). Los municipios con mayor participación son Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán y Huimanguillo (SIAP, 2018).

Los elementos del clima más importantes para las plantas son la radiación solar, temperatura y la disponibilidad de agua (Arteaga y Romo González, 1983; Campos Aranda, 2005). El clima es quizá el factor más importante para la agricultura, ya que factores edáficos, de relieve o genéticos pueden modificarse y adaptarse (Pascale y Damario, 2004). Por ejemplo, la fertilidad de los suelos, la exposición u orientación en la que se establecen los cultivos o la selección de variedades mejoradas, pueden adecuarse para obtener calidad en el fruto, mayores rendimientos y resistencia a plagas. De la misma forma que el clima ayuda a que la vegetación llegue a su óptimo desarrollo, también puede ser un factor limitante para el cultivo, por lo tanto, deben ponerse atención a las condiciones ambientales.

La radiación solar es la fuente de energía para que se lleven a cabo funciones en los organismos vegetales. Las plantas suelen responder a las diferentes duraciones diarias de luz solar y dependiendo de esa respuesta se clasifican en plantas de fotoperiodo largo, corto o indiferente. Por sus requerimientos fototérmicos, el cacao se considera una planta de fotoperiodo corto y es típicamente umbrófilo (Arteaga y Romo González, 1983; Enríquez, 1985; Campos Aranda, 2005; ICCO, 2018).

La temperatura influye en el crecimiento vegetativo del cacao y es de vital importancia en las etapas de floración y desarrollo del fruto (De Almeida y Valle, 2007). El umbral térmico mínimo para la etapa de floración es de 25°C (Enríquez, 1985; Ministerio de Agricultura y Riego, 2012). Sin embargo, la formación de flores tiene su óptimo alrededor de los 27°C (Gómez M. y Azócar, 2002). Para la etapa en la que se desarrolla el fruto, se ha observado que su crecimiento y maduración se logra con mayor rapidez con temperaturas máximas de 32°C y mínimas de 22°C (Burgos y Reyes, 1965). Se ha documentado que, en lugares menos cálidos, la maduración del fruto oscila entre 167 y 205 días y, en zonas más cálidas, con temperaturas promedios entre 25° y 26°C. Las mazorcas maduran entre 140 y 175 días (Leal, Avilán y Valderrama, 1999; Johnson, Bonilla y Agüero Castillo, 2008).

El cacao necesita de lluvias uniformemente repartidas a lo largo del año, con un rango de precipitación óptimo oscilando entre 1,500 y 2,800 mm anuales (Dostert, Roque, Cano, La Torre y Weigend, 2011), con un mínimo mensual de 100 mm (Hardy, 1960; Enríquez, 1985; Suárez Venero, 2006; Árvulo Sánchez, González León, Maroto Arce, Delgado López y Montoya Rodríguez, 2017; ICCO, 2018). En tanto, Suárez Venero (2006) señala que es más importante la frecuencia de las lluvias que la precipitación total. Además, Leal *et al.* (1999) recalcan que, en las regiones cacaoteras del mundo, la precipitación excede a la evapotranspiración entre siete y nueve meses del año. De todos los factores que inciden en el establecimiento de las plantaciones de cacao, su rendimiento y producción, la temperatura, la precipitación, el agrupamiento de

suelos y su profundidad son los más relevantes (Suárez, Florido Bacallao, Soto Carreño y Caballero Núñez, 2013; Suárez Venero, Soto Carreño, Garea Llanos y Solano Ojeda, 2015).

Actualmente el tema de cambio climático ha adquirido importancia en torno al aumento en la frecuencia y severidad de altas temperaturas, excesos de lluvias o intensificación de las sequías, lo que podría agravarse; se piensa que puede repercutir en la productividad, las prácticas agrícolas, el cambio de uso del suelo, la adaptación de cultivos, las fronteras agrícolas, entre otros (Nelson, Rosegrant, Koo, Robertson, Sulser, Zhu, Ringler, Msangi, Palazzo, Batka, Magalhaes, Valmonte, Ewing y Lee, 2009; Comisión Económica para América Latina y El Caribe [CEPAL], 2011; Altieri y Nichols, 2013; López Feldman y Hernández Cortés, 2016; Ángeles Hernández y Montiel Gutiérrez, 2018; Vega Nevárez, 2018). Diversos son los estudios que han abordado los impactos ambientales que tendrán las áreas productoras de cacao debido a la variación climática y el cambio climático, principalmente en Ghana, Costa Rica, Libia, Indonesia y Costa de Marfil (Läderach, Martínez-Valle, Schrot y Castro, 2013; Torquebiau, Manley y Cowan, 2015; Abdulai, Vaast, Hoffmann, Asare, Jassogne, Van Asten, Rötter y Graefe, 2018; Benkeblia, McHenry, Crisp y Roudier, 2018; Bunn, Lundy, Wiegel, y Castro-Llanos, 2019). En cuanto a las zonas productoras de México, Centroamérica y Caribe, estos estudios aún son pocos (Eitzinger, Farrell, Rhiney, Carmona, Van Loosen y Taylor, 2015; Hutchins, Tamargo, Bailey y Kim, 2015).

Existe una tendencia metodológica relevante en los estudios de cambio climático y cacao; por un lado, algunos estudios se valen de variables climáticas provenientes de las bases de datos de WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) en formato ráster a una resolución de 30" de arco (aproximadamente 926m x 926m) para construir el clima base en las áreas de estudio; dichas bases se combinan con variables bioclimáticas anuales. Sin embargo, los cambios climáticos no se aplican a partir del estado fenológico. Por otra parte, algunos trabajos utilizan los 19 modelos de circulación global IPCC (2013) para los escenarios de intermedio a extremo (RCP6.0 y RCP8.5) al periodo 2040-2069 para obtener los valores de cambio climático. Los datos climáticos son asociados a registros georreferenciados de plantaciones para emplearlos en algoritmos como Maxent o *Random Forest* (Läderach *et al.*, 2013; Schroth, Läderach, Martínez-Valle, Bunn y Jassogne, 2016; Bunn, Läderach, Quaye, Muilerman, Noponen y Lundy, 2019; Fischer, Tramberend y van Velthuisen citado en Tramberend, 2020). Los resultados son aprovechados para el diagnóstico de cambio en las áreas de potencial agrícola para el cacao y evaluar los posibles impactos del cambio climático. Por lo anterior se hace necesario identificar la influencia del clima futuro en las diversas etapas fenológicas clave del cacao.

Ante esta situación cabe preguntarse, ¿cuáles son los requerimientos agroclimáticos del cacao en la principal región productora de México? ¿Cuáles serían los cambios por efecto de cambio climático? Por lo anterior, objetivo de este trabajo es calcular los indicadores agroclimáticos para el ciclo reproductivo del cacao y sus alteraciones bajo escenarios de cambio climático RCP4.5 en el horizonte 2015-2039.

## Área de estudio

Los municipios productores de cacao que constituyen el área de estudio son Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán y Huimanguillo que pertenecen a la subregión Chontalpa en el estado de Tabasco (Figura 1).

La región de estudio se caracteriza por amplias planicies con algunas elevaciones y suelos originados por aluviones *in situ* y suelos marinos (López Güemez, Palma González, Hernández Rivera, Ojeda Morales, Ángeles Padilla, Ruiz Nájera. y García Marín, 2007); son el Cambisol, Gleysol y Vertisol los que sustentan la mayoría de las plantaciones de cacao. El clima es poco variable, se presentan condiciones térmicas en torno a 26°C con lluvias de 2500 mm anuales y veranos muy lluviosos (Ruiz-Álvarez, Arteaga-Ramírez, Vázquez-Peña, Ontiveros Capturada y López-López, 2012). García (2004) indica que debido a su ubicación en el trópico húmedo, la cercanía al Golfo de México y por tener un terreno plano, posee climas cálidos. En la mayoría del territorio tabasqueño las precipitaciones son bimodales; es decir, se presentan dos picos máximos de precipitación al año —junio y octubre—. De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite y Papadakis se reconoce como caliente y húmedo (Campos Aranda 2005; Ruiz-Álvarez *et al.*, 2012).

## Materiales y métodos

En este trabajo se utilizó el método agroclimático, que se basa en la relación de los elementos del clima (radiación, temperatura y agua; de este último se considera la precipitación y evapotranspiración potencial) y el ciclo de vida de las plantas. Para llevar a cabo dicho método se requieren datos climáticos y fenológicos. Por un lado, las bases de datos climáticos se obtuvieron del Sistema CLICOM del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California [CICESE] (2019), para las variables de temperatura media, máxima, mínima y la precipitación a nivel diario. Dicha información fue validada para garantizar que las bases fueran suficientes, integrales, coherentes y homogéneas. Los criterios de confiabilidad fueron los siguientes: 1) Contar como mínimo 30 años de información; 2) no contar con más del 20% de información faltante en su registro histórico; 3) resultados favorables en la prueba de homogeneidad.

Como primer paso se verificó la congruencia lógica y espacial de la información mediante la implementación de rutinas desarrolladas y almacenadas en macros de Excel con el fin de detectar registros atípicos como precipitaciones negativas, temperaturas máximas menores a las temperaturas mínimas y viceversa (Guajardo, Granados, Sánchez, Díaz y Barbosa, 2017; Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2018). Posteriormente, se descartaron las estaciones con datos menores a 30 años dado que es el periodo de referencia que establece la OMM (2019) para estudios relacionados con cambio climático. De la misma manera, se siguieron las directrices que la OMM

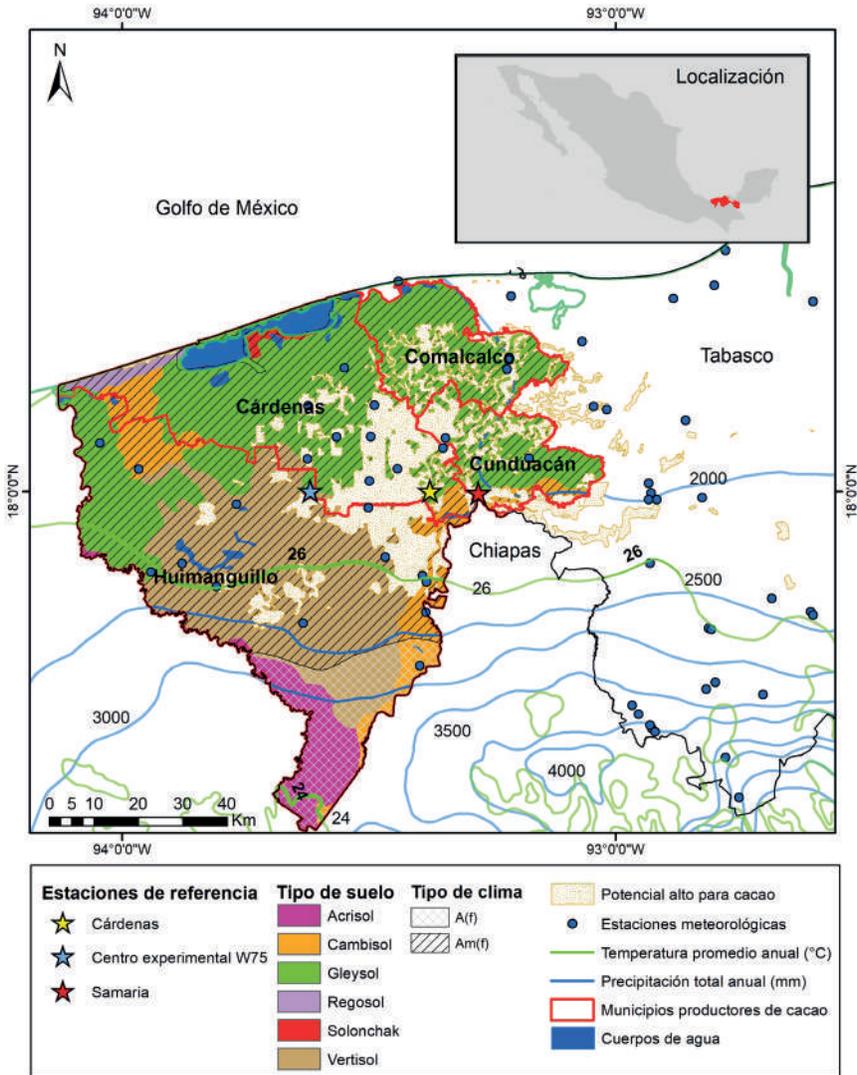


Figura 1. Área de estudio. Elaborada por los autores con base en García y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] (1998); Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2014); SAGARPA (2012)

establece con respecto a los datos faltantes. Por tanto, la estimación de datos faltantes se realizó mediante aproximaciones lineales, tomando en cuenta las observaciones inmediatas anteriores y posteriores al periodo a estimar. Por último, se realizó la prueba de homogeneidad a las series de datos de las estaciones que cumplieron con los estándares anteriores. La homogeneidad y sus pruebas estadísticas identifican cambios

significativos en la media, es decir, se busca que las series sean consistentes, lo que implica que los datos medidos pertenecen a la misma población estadística (Campos Aranda, 2015). Las bondades o desventajas que tiene emplear los métodos de prueba de homogeneidad dependen de la distribución de frecuencia de los datos: si existe un comportamiento normal o gaussiano, se usan métodos paramétricos, si no es el caso, entonces se utilizan métodos no paramétricos (OMM, 2018; Campos Aranda, 2015). Entre los métodos paramétricos se encuentran las pruebas del cociente de Geary, Shapiro-Wilk y Fisher. Los métodos no paramétricos son las pruebas de Mann-Kendall, Siegel-Tukey, Pettitt, de secuencias, Helmer o el de Buishand, que puede ser utilizado en variables con cualquier tipo de distribución (Castro y Carvajal Escobar, 2010; Campos Aranda, 2015; Guajardo *et al.*, 2017; Andrades Grassi, Torres Mantilla, López Hernández y Rojas Polanco, 2019). Para las estaciones del área de estudio se emplearon los registros de precipitación, los cuales no cumplen con una distribución normal, por lo que se realizó la prueba de Helmer, que consiste en analizar las desviaciones de cada dato de la serie original con respecto a su media a partir de la diferencia entre las secuencias y cambios formados, dentro de unos límites de error probable (Campos Aranda, 2005; Campos Aranda, 2015).

Se seleccionaron los datos de tres estaciones climatológicas dentro del área de estudio para el cálculo de los indicadores (Tabla 1 y Figura 1).

La información fenológica se obtuvo de Ministerio de Agricultura y Riego, Perú (s.f.); Villalpando Ibarra y Ruiz Corral (1993); Boulay, Somarriba y Olivier (2000); Niemenak, Cilas, Rohsius, Bleiholder, Meier y Lieberei (2010); Arbeláez Arias (2010); Ministerio de Agricultura y Riego (2011); Bridgemohan, Mohamed, Mohammed, Singh y Bridgemohan (2016); Castro Muñoz, Panduro Tenazoa, Velazco Castro e Iturraran Pinto (2017); y de datos obtenidos en campo. El trabajo en campo consistió en la visita a cinco plantaciones de cacao en la región de estudio; se aplicaron entrevistas semiestructuradas individuales a los productores de cacao. Las preguntas se enfocaron en conocer las fechas en el año en que la mayoría de los árboles se encontraban en alguna de las etapas reproductivas del cacao. De manera adicional, también se orientaron hacia la percepción de los cambios en el clima y sobre las afectaciones

**Tabla 1**  
**Estaciones de referencia en la región productora de cacao**

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Municipio	Periodo	Años efectivos de registros
27007	Cárdenas	18°00'05" N	93°37'09" W	Cárdenas	1955-2013	44
27008	Centro experimental W75	18°00'04" N	93°22'35" W	Huimanguillo	1961-2013	52
27040	Samaria	17°59'51" N	93°16'43" W	Cunduacán	1949-2013	62

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019)

que esperarían del cambio climático en la producción del cacao. Los resultados se compararon, analizaron y se asociaron las fuentes bibliográficas consultadas para construir un calendario fenológico aproximado del cacao.

Una vez que se trataron tanto los datos climáticos y los fenológicos, se calcularon los siguientes indicadores por etapa y para el ciclo fenológico del cacao:

**Radiación solar.** Los valores de la duración astronómica del día o fotoperiodo se obtuvieron de las tablas astronómicas de Torres Ruiz (1995; Tabla 2), mientras que las unidades fototérmicas se calcularon a partir de la siguiente fórmula:

$$UF = \frac{\sum UC * N}{10}$$

Donde:

UF: unidades fototérmicas

$\sum UC$ : sumatoria de las unidades calor

N: fotoperiodo medio

**Temperatura.** Se analizaron las temperaturas medias, máximas y mínimas, se estimaron las unidades calor por el método residual; se tomó como referencia el cero fisiológico de los árboles frutales en ambientes cálidos que es de 12°C (Campos Aranda, 2005):

$$UC = (Tm - PC) * D$$

Donde:

UC: unidades calor para un día

Tm: temperatura media

PC: punto crítico, cero fisiológico o cero vital

D: número total de días del mes

**Disponibilidad de agua.** Se calcularon los valores de ETP y el balance hídrico por el método directo o empírico de Thornthwaite tomado de Almorox (2003). En el criterio de Thornthwaite, la estimación de la ETP se realiza mediante la fórmula que utiliza la temperatura media mensual (Tm) y la duración promedio del día (N):

$$ICM = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1.514} \quad ET = 16 \left(\frac{10Tm}{ICA}\right)^\alpha$$

Donde, ICM es el índice de calor mensual sin corregir, en milímetros. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual (ET) es necesario el índice de calor

**Tabla 2**  
**Fotoperiodo medio en el estado de Tabasco**

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Latitud 17°	11.11	11.46	11.91	12.40	12.81	13.00	12.90	12.56	12.08	11.59	11.18	11.00
Latitud 18°	11.06	11.42	11.91	12.43	12.86	13.06	12.96	12.60	12.08	11.57	11.13	10.94

Fuente: Torres Ruiz (1995)

anual (ICA), que es igual a la suma de los doce índices mensuales y, el exponente  $\alpha$  que tiene la expresión siguiente:

$$\alpha = 6.75 * 10^{-7} (ICA)^3 - 7.71 * 10^{-5} (ICA)^2 + 1.792 * 10^{-2} (ICA) + 0.49239$$

Cabe resaltar que para temperaturas mayores de 26°C no hay influencia del índice de calor anual, por lo que la evapotranspiración potencial está en función de la temperatura media mensual (Tm); por lo tanto, se tomaron los valores correspondientes de ETP sin corregir de Campos Aranda (2005). Finalmente para la corrección de los valores se emplea la fórmula:

$$ET = FC_N * ET$$

Donde,  $FC_N$  es el factor correctivo mensual que considera el número de días del mes (D) y la insolación del lugar (N), cuya expresión es:

$$FC_N = \left(\frac{D}{30}\right) * \left(\frac{N}{12}\right)$$

El balance hídrico se calculó por el método directo de acuerdo con lo citado por Almorox (2003) para cada estación de referencia. El método consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros:

- **P**: precipitación media mensual
- **ETP**: evapotranspiración potencial
- **P – ETP**: es la diferencia entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP). Corresponde al balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua en el suelo. La diferencia clasifica a los meses en secos ( $P - ETP < 0$ ) o húmedos ( $P - ETP > 0$ )
- **R**: reserva de agua en el suelo. Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, el agua sobrante pasará a engrosar la reserva del suelo; por el con-

trario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo. Así, la reserva del mes se calcula agregando los incrementos ( $P - ETP$ ) cuando estos son positivos, donde la reserva en el mes “i”, en función del mes anterior ( $i - 1$ ) será:

$$a) R_i = R_{i-1} + (P_i - ETP_i) \text{ Si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < R_{max}$$

$$b) R_i = R_{max} \text{ Si } R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > R_{max}$$

$$c) R_i = 0 \text{ Si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i)$$

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el periodo húmedo, según los incrementos de  $P - ET > 0$ , y disminuyendo al llegar al periodo seco; la reserva nunca tendrá un valor mayor que la reserva máxima (100 mm) ni un número negativo. Es necesario conocer la reserva del mes anterior para comenzar la estimación, por lo que se asigna un valor hipotético al mes y se realizan los ciclos anuales de cálculo (aunque en el acomodo de los datos se tenga un mes inicial y uno final) hasta que la hipótesis de la que se parte se confirme al final del ciclo. Se asume que después del periodo seco la reserva de agua en el suelo es nula, en consecuencia se empieza el cálculo de la reserva de agua con el primer mes del periodo húmedo y se asigna al mes anterior una reserva nula (Almorox, 2003).

- **VR:** es la variación de la reserva o del agua almacenada. Es la diferencia entre la reserva del mes en el que se está realizando el cálculo y la reserva del mes anterior; si resulta un signo positivo significa reposición de humedad en el suelo y si tiene un signo negativo indica utilización de la humedad del suelo. La fórmula es:

$$VR_i = R_i - R_{i-1}$$

- **ETR:** evapotranspiración real. Es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar o no a la ETP. La evapotranspiración real en el periodo húmedo va a ser igual a la evapotranspiración potencial:

$$ETR_i = ETP_i$$

Mientras que para el periodo seco, el agua que se evapora será el agua de la precipitación más la que se extrae del suelo, es decir, la variación de la reserva (la reserva

que queda menos la que había en el mes anterior; como tendrá signo negativo, se toma el valor absoluto), entonces:

$$ETR_i = P_i + VR_i$$

- **F**: falta o déficit de agua. Es el volumen de agua que falta por cubrir las necesidades potenciales de la vegetación, cuya fórmula es:

$$F_i = ETP_i - ETR_i$$

- **Ex**: exceso de agua. Es el agua que excede de la reserva máxima y que se perderá por escorrentía superficial o profunda. Se debe tener presente que sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la evapotranspiración real, es decir, en los meses húmedos. Se ocupará la fórmula que corresponde a cada condición según sea el caso:

$$a) Ex_i = (P_i - ETP_i - VR_i) Si (P_i - ETP_i) > 0$$

$$b) Ex_i = 0 Si Si (P_i - ETP_i) \leq 0$$

Para los escenarios de cambio climático, se extrajeron los datos mensuales de temperatura y precipitación en formato *Geotiff* con resolución espacial de 926 x 926 metros, de la página de la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales [UNIATMOS] (2015) donde se seleccionó la Trayectoria de Concentraciones Representativa (RCP, por sus siglas en inglés) 4.5 que representa un forzamiento radioactivo de 4.5Wm<sup>2</sup> que se estabiliza después del año 2100, con una concentración de 538 partes por millón (p.p.m) de CO<sub>2</sub> y 650 p.p.m. de CO<sub>2e</sub> (dióxido de carbono más metano, óxido nitroso y los gases fluorados) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013; IPCC, 2015) para los modelos GFDL-CM3 y HADGEM2-ES en el horizonte de tiempo de 2015-2039. El horizonte 2015-2039 se eligió ya que se pretende conocer los efectos a corto plazo con un escenario donde las concentraciones de gases de efecto invernadero se estabilizan al final del siglo por causa de medidas de mitigación, y un aumento en la temperatura media global del aire menor a 1.4°C antes del 2045 (Thomson, Calvin, Smith, Kyle, Volke, Patel, Delgado, Lamberty, Wise, Clarke y Edmonds, 2011). Estos modelos forman parte de los escenarios que se han adaptado para el país para su empleo en estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. La metodología que utilizaron en la generación de estos escenarios la describen Fernández Eguiarte, Zavala Hidalgo, Romero Centeno, Conde Álvarez y Trejo Vázquez (2015).

Se desplegaron los archivos en un Sistema de Información Geográfica recortando el área de estudio con una máscara del límite estatal de Tabasco. Posteriormente se ocuparon los puntos correspondientes a las estaciones meteorológicas de referencia para extraer los valores de las variables. Para la temperatura, se calculó la diferencia

entre el valor promedio mensual del escenario de cambio climático y la temperatura promedio mensual en el periodo histórico de las estaciones de referencia (denominado aquí como escenario base) para cada mes del año; se promediaron los valores y se obtuvo la desviación típica. Se construyeron gráficas donde se agruparon los valores mensuales del escenario base y de los dos modelos correspondientes a las tres estaciones de referencia para un año y en el periodo reproductivo, con el fin de comparar las fluctuaciones de las temperaturas. Los datos de precipitación de los modelos de cambio climático se emplearon para calcular la evapotranspiración potencial y el balance hídrico.

## Resultados

### *Ciclo fenológico del periodo reproductivo del cacao*

Arbeláez Arias (2010) menciona que el ciclo fenológico del cacao se compone por los periodos de reposo, vegetativo, reproductivo y de cosecha. El reproductivo es el de interés para esta investigación debido a que el producto comercial es el resultado de la culminación de ese periodo (cacao en grano). Se compone por las siguientes etapas (Figura 2):

- 1) Botón floral: los botones tienen cerca de un centímetro de tamaño, aparecen en las partes viejas o troncos maduros. Generalmente se presentan pasados los tres años de vida; en híbridos interclonales la floración puede ser más temprana.
- 2) Floración: es la apertura de los botones florales; las flores permanecen abiertas por un corto tiempo para ser fecundadas. El cacao difícilmente se puede auto fecundar, normalmente se poliniza por medio de insectos.
- 3) Fructificación: el fruto crece en tamaño (se toma en cuenta a partir de que el fruto alcance los 2 cm) como resultado de la maduración del ovario una vez fecundado.
- 4) Maduración: los frutos alcanzan su máximo tamaño y el color típico de la variedad. El tiempo de maduración del fruto varía por genotipos y ambiente: por genotipos hay una variación de 5 a 7 meses (150-210 días); por ambiente, entre más cálido, más rápido puede madurar.

A partir de los datos obtenidos de distintas fuentes, de la información proporcionada por los productores entrevistados, y de la observación en campo (tomando en cuenta que no existe una diferenciación marcada de la fenología de las plantas, en especial las perennes), se construyó un calendario fenológico con las distintas etapas para el periodo reproductivo a lo largo de un año (Figura 3). Cabe mencionar que dicho calendario no distingue las diferentes variedades de cacao, aunque es cierto que en la mayoría de las plantaciones y en las fuentes consultadas es similar a la variedad que corresponde al criollo.

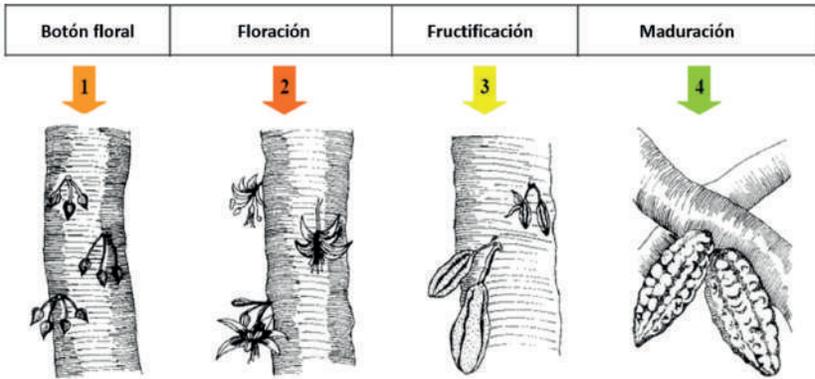


Figura 2. Etapas fenológicas del ciclo reproductivo del cacao. Fuente: Villalpando Ibarra y Ruiz Corral (1993); Ministerio de Agricultura y Riego (s.f.); Castro Muñoz *et al.* (2017).

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Fructificación		Madurez		Cosecha				Floración		Fructificación	

Figura 3. Calendario fenológico anual del cacao en la región productora de Tabasco. Fuente: Elaborado por los autores a partir de trabajo de campo.

### Unidades fototérmicas

Las unidades fototérmicas combinan el fotoperiodo y las unidades calor con la fenología de los cultivos, y son utilizadas como un indicador de las necesidades de luz y temperatura que se requieren para que se cumplan las actividades biológicas por etapa fenológica o de todo el ciclo de vida de la planta. En este caso, para la floración se necesitan en promedio 926 u.f.; para la fructificación 1130 u.f. y en la etapa de madurez 1047 u.f. La demanda de unidades fototérmicas desde la floración hasta la madurez es más de 3000 (Tabla 3).

**Tabla 3**  
Unidades fototérmicas por etapa fenológica

Etapas fenológicas	Floración	Fructificación	Madurez	Ciclo reproductivo
Periodo	octubre-noviembre	diciembre-febrero	marzo-abril	
Unidades fototérmicas	910 - 934	1,117 - 1,153	1,014 - 1,118	3,045 - 3,170
Promedio	926	1,130	1,047	3,103

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019)

*Temperaturas promedio y unidades calor*

La temperatura promedio durante la floración y fructificación oscila los 25°C a 26°C con máximas entre 29°C y 32°C y mínimas que no descienden de los 19°C; lo anterior significa que el comportamiento fenológico de estas etapas sería de normal a óptimo, puesto que los rangos son parecidos a los que proponen en otras investigaciones (Burgos y Reyes, 1965; Enríquez, 1985; Gómez M. y Azócar, 2002; De Almeida y Valle, 2007; Ministerio de Agricultura y Riego, 2012; Rojas y Sacristán Sánchez, 2013).

Las unidades calor son un indicio de la cantidad de grados de temperatura que requiere la planta de cacao a lo largo de su ciclo reproductivo que le permitan su óptimo funcionamiento. Para este estudio corresponden a las etapas que constituyen el ciclo reproductivo (Tabla 4):

**Tabla 4**  
**Unidades calor y constante térmica**

Etapa fenológica	Floración	Fructificación	Madurez	Constante térmica
Periodo	octubre-noviembre	diciembre-febrero	marzo-abril	
Unidades calor	820 - 840	1,000 – 1,040	905 - 918	2,740 -2,790
Promedio	828	1,018	914	2,760

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019).

Los resultados muestran que durante la floración son necesarias 828 u.c., mientras que para la fructificación se requieren 1,018 unidades calor. Para que suceda la madurez del fruto, las unidades calor deben rondan entre 905 y 918 u.c. En general, son estas dos últimas etapas en las que la planta de cacao necesita más unidades para su desempeño. Al final, la sumatoria de unidades calor o constante térmica desde la etapa de floración hasta la madurez del fruto oscila cerca de las 2,700 u.c.

*Balance hídrico y cacao*

La precipitación total anual en la región se encuentra entre los 1,900 a los 2,100 mm, rangos que se consideran dentro de los valores óptimos para el cultivo. Asimismo, se distinguen dos periodos a lo largo del año: el seco, tiene una duración de tres meses de marzo a mayo; y el húmedo, que se prolonga por nueve meses, de junio a febrero. La reserva de agua en el suelo llega a su capacidad máxima por lo menos en cinco meses del periodo húmedo. Mientras que en abril y mayo no hay agua en la reserva del suelo debido a que el agua que se ha venido acumulando, y estuvo retenida durante esos meses, se encuentra en uso (son precisamente estos dos meses en los que se presenta un déficit hídrico), por el contrario, entre 7 y 9 meses se tiene un exceso de agua tal y como lo indican Leal *et al.* (1999) (Tabla 5).

**Tabla 5**  
**Balances hídricos de las estaciones de referencia**

Cárdenas										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	138,5	76,1	húmedo	62,4	100,0	0,0	76,1	0,0	62,4
Fructificación	FEB	90,2	74,1	húmedo	16,1	100,0	0,0	74,1	0,0	16,1
Maduración	MAR	42,1	93,1	seco	-51,0	49,0	-51,0	93,1	0,0	0,0
Maduración	ABR	48,4	153,9	seco	-105,5	0,0	-49,0	97,4	56,5	0,0
Cosecha	MAY	68,3	172,0	seco	-103,7	0,0	0,0	68,3	103,7	0,0
Cosecha	JUN	218,5	179,7	húmedo	38,8	38,8	38,8	179,7	0,0	0,0
Cosecha	JUL	178,6	164,9	húmedo	13,7	52,5	13,7	164,9	0,0	0,0
Cosecha	AGO	235,8	160,3	húmedo	75,5	100,0	47,5	160,3	0,0	28,0
Cosecha	SEP	338,4	144,6	húmedo	193,8	100,0	0,0	144,6	0,0	193,8
Floración	OCT	350,4	91,6	húmedo	258,8	100,0	0,0	91,6	0,0	258,8
Floración	NOV	208,0	80,0	húmedo	128,0	100,0	0,0	80,0	0,0	128,0
Fructificación	DIC	131,8	76,4	húmedo	55,4	100,0	0,0	76,4	0,0	55,4
TOTAL		<b>2048,9</b>	<b>1466,7</b>							

Centro experimental W75										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	150,3	75,4	húmedo	74,9	100,0	0,0	75,4	0,0	74,9
Fructificación	FEB	85,0	73,4	húmedo	11,6	100,0	0,0	73,4	0,0	11,6
Maduración	MAR	40,2	92,6	seco	-52,4	47,6	-52,4	92,6	0,0	0,0
Maduración	ABR	46,8	155,4	seco	-108,6	0,0	-47,6	94,4	61,0	0,0
Cosecha	MAY	64,8	175,1	seco	-110,3	0,0	0,0	64,8	110,3	0,0
Cosecha	JUN	210,3	167,4	húmedo	42,9	42,9	42,9	167,4	0,0	0,0
Cosecha	JUL	198,1	166,7	húmedo	31,4	74,3	31,4	166,7	0,0	0,0
Cosecha	AGO	242,4	162,0	húmedo	80,4	100,0	25,7	162,0	0,0	54,7
Cosecha	SEP	345,3	146,2	húmedo	199,1	100,0	0,0	146,2	0,0	199,1
Floración	OCT	375,4	91,5	húmedo	283,9	100,0	0,0	91,5	0,0	283,9
Floración	NOV	221,4	79,7	húmedo	141,7	100,0	0,0	79,7	0,0	141,7
Fructificación	DIC	141,3	76,5	húmedo	64,8	100,0	0,0	76,5	0,0	64,8
TOTAL		<b>2121,6</b>	<b>1461,9</b>							

Samaria										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	115,5	77,4	húmedo	38,1	100,0	0,0	77,4	0,0	38,1
Fructificación	FEB	76,4	74,6	húmedo	1,8	100,0	0,0	74,6	0,0	1,8
Maduración	MAR	45,1	92,8	seco	-47,7	52,3	-47,7	92,8	0,0	0,0
Maduración	ABR	42,5	151,9	seco	-109,4	0,0	-52,3	94,8	57,1	0,0
Cosecha	MAY	90,8	172,1	húmedo	-81,3	0,0	0,0	90,8	81,3	0,0
Cosecha	JUN	205,0	165,9	húmedo	39,1	39,1	39,1	165,9	0,0	0,0
Cosecha	JUL	180,3	165,0	húmedo	15,3	54,4	15,3	165,0	0,0	0,0
Cosecha	AGO	215,1	161,5	húmedo	53,6	100,0	45,6	161,5	0,0	8,0
Cosecha	SEP	319,1	147,1	húmedo	172,0	100,0	0,0	147,1	0,0	172,0
Floración	OCT	326,3	134,7	húmedo	191,6	100,0	0,0	134,7	0,0	191,6
Floración	NOV	174,7	81,4	húmedo	93,3	100,0	0,0	81,4	0,0	93,3
Fructificación	DIC	139,6	78,0	húmedo	61,6	100,0	0,0	78,0	0,0	61,6
TOTAL		<b>1930,4</b>	<b>1502,4</b>							

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019).

La disponibilidad de agua en Tabasco no representa un problema en sí. Sin embargo los factores edáficos y el cambio de uso del suelo definen si el agua es perjudicial o benéfica en la región. Las plantas de cacao reaccionan en forma sensible a la cantidad de agua en el suelo y son susceptibles a la sequedad (De Almeida y Valle, 2007). Al tratarse de una planta originaria de un ambiente tropical, requiere determinada cantidad de agua en el suelo. Hardy (1960), Smyth (1975), Leal *et al.* (1999) y Suárez *et al.* (2013) mencionan que un buen suelo para el cacao debe tener una adecuada retención de humedad todo el año y un buen drenaje que facilite que el agua en exceso se percole internamente. La profundidad también puede diferenciar un suelo bueno de uno malo. Concretamente, en la región predominan la asociación de suelos Vertisol eútrico + Gleysol eútrico, con un total de 37.11%, seguida del tipo Fluvisol eútrico con 31.27% del área total y son estos últimos, los más utilizados debido a sus características; son profundos, tienen buen drenaje, buena capacidad de almacenamiento de agua y responden a la fertilización (Ramos Reyes, Palma López, Ortiz Osorio, Ortiz García y Díaz Padilla, 2004).

#### *Escenario RCP4.5 GFDL-CM3: cambios en las temperaturas y disponibilidad de agua*

Se compararon los valores del clima base con los del escenario RCP4.5 GFDL-CM3 a través de las estaciones de referencia dentro de la región productora de cacao y se obtuvo la diferencia entre ambos (Figura 4). En promedio, el cambio de la temperatura entre el clima base y el escenario de cambio climático en las estaciones de Cárdenas y Centro experimental W75 fue de 1.1°C, con una desviación estándar de 0.73 y 0.38, respectivamente. Mientras que en Samaria el cambio promedio es de 1.3°C, con una desviación de 0.37. Solamente en el mes de junio en la estación Cárdenas hay una disminución de la temperatura promedio (-1°C).

El aumento de las temperaturas bajo este escenario muestra que los valores son más similares a los óptimos propuestos en la literatura (27°C a 28°C) que a los normales (entre 25°C y 26°C). La fructificación continuaría de manera normal ya que los cambios se mantienen dentro de los rangos estándar (entre 23°C y 26°C). Mientras que en la etapa de madurez del fruto, las temperaturas en el escenario base fluctúan entre 25°C y 28°C y para este escenario de 27°C a 29°C (Figura 5).

Por otra parte, las precipitaciones anuales en las tres estaciones son similares a las del escenario base, con rangos de entre 2,000 a 2,100 mm y una disminución de aproximadamente 100 mm del total anual (Tabla 6). Sin embargo, los valores de evapotranspiración potencial en los tres sitios aumentan; de presentar rangos de 1,400 mm (ver Tabla 5) se pasará a los 1,600 mm (ver Tabla 6). Esta situación está estrechamente relacionada con los resultados del balance hídrico, donde los resultados muestran que el periodo seco se podría presentar un mes antes de lo normal; comenzaría en febrero hasta mayo, por lo que no existiría un déficit hídrico en el suelo durante nueve meses.

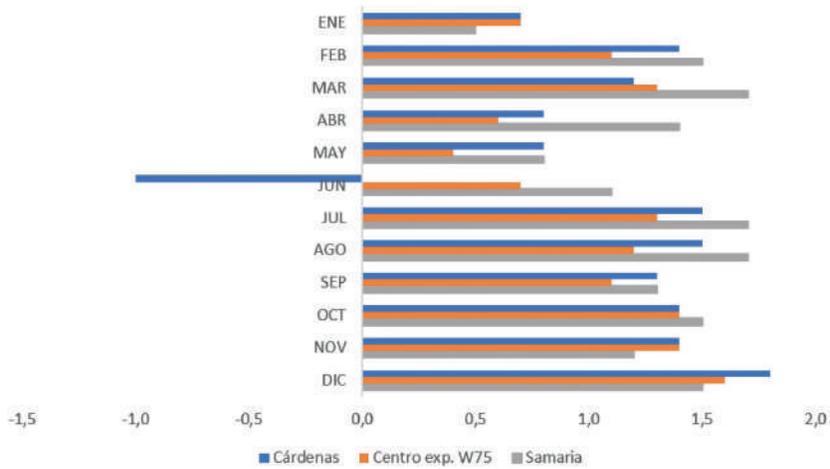


Figura 4. Cambio de temperatura mensual bajo escenario RCP4.5 GFDL-CM3, 2015-2039. Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019) y UNIATMOS (2015).

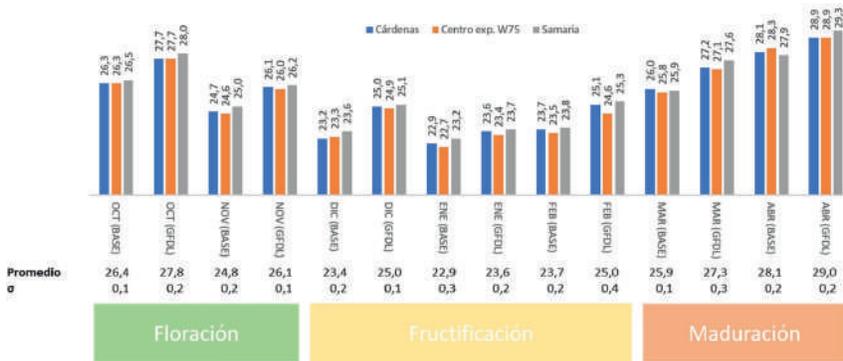


Figura 5. Comparación de las temperaturas en el ciclo reproductivo del cacao escenario RCP4.5 GFDL-CM3, 2015-2039. Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019) y UNIATMOS (2015).

**Tabla 6**  
**Balances hídricos de las estaciones de referencia bajo escenario**  
**RCP4.5 GFDL-CM3, 2011-2039**

Cárdenas										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	124,0	78,7	Húmedo	45,3	100,0	0,0	78,7	0,0	45,3
Fructificación	FEB	94,0	78,8	Húmedo	15,2	100,0	0,0	78,8	0,0	15,2
Maduración	MAR	43,0	144,8	Seco	-101,8	0,0	-100,0	143,0	101,8	0,0
Maduración	ABR	39,0	160,2	Seco	-121,2	0,0	0,0	39,0	39,0	0,0
Cosecha	MAY	96,0	178,1	Seco	-82,1	0,0	0,0	96,0	82,1	0,0
Cosecha	JUN	223,0	172,9	Húmedo	50,1	50,1	50,1	172,9	0,0	0,0
Cosecha	JUL	188,0	172,9	Húmedo	15,1	65,2	15,1	172,9	0,0	0,0
Cosecha	AGO	238,0	172,9	Húmedo	65,1	100,0	34,8	172,9	0,0	30,3
Cosecha	SEP	344,0	172,9	Húmedo	171,1	100,0	0,0	172,9	0,0	171,1
Floración	OCT	374,0	144,8	Húmedo	229,2	100,0	0,0	144,8	0,0	229,2
Floración	NOV	144,0	84,8	Húmedo	59,2	100,0	0,0	84,8	0,0	59,2
Fructificación	DIC	148,0	82,5	Húmedo	65,5	100,0	0,0	82,5	0,0	65,5
TOTAL		2055,0	1644,3							

Centro experimental W75										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	145,0	78,0	Húmedo	67,0	100,0	0,0	78,0	0,0	67,0
Fructificación	FEB	78,0	77,2	Húmedo	0,8	100,0	0,0	77,2	0,0	0,8
Maduración	MAR	42,0	143,9	Seco	-101,9	0,0	-100,0	142,0	1,9	0,0
Maduración	ABR	47,0	160,2	Seco	-113,2	0,0	0,0	47,0	113,2	0,0
Cosecha	MAY	86,0	178,1	Seco	-92,1	0,0	0,0	86,0	92,1	0,0
Cosecha	JUN	242,0	172,9	Húmedo	69,1	69,1	69,1	172,9	0,0	0,0
Cosecha	JUL	186,0	177,3	Húmedo	8,7	77,8	8,7	177,3	0,0	0,0
Cosecha	AGO	261,0	171,6	Húmedo	89,4	100,0	22,2	171,6	0,0	67,2
Cosecha	SEP	351,0	154,9	Húmedo	196,1	100,0	0,0	154,9	0,0	196,1
Floración	OCT	377,0	144,8	Húmedo	232,2	100,0	0,0	144,8	0,0	232,2
Floración	NOV	181,0	84,4	Húmedo	96,6	100,0	0,0	84,4	0,0	96,6
Fructificación	DIC	145,0	82,1	Húmedo	62,9	100,0	0,0	82,1	0,0	62,9
TOTAL		2141,0	1625,6							

Samaria										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	135,0	79,4	Húmedo	55,6	100,0	0,0	79,4	0,0	55,6
Fructificación	FEB	88,0	79,7	Húmedo	8,3	100,0	0,0	79,7	0,0	8,3
Maduración	MAR	45,0	148,2	Seco	-103,2	0,0	-100,0	145,0	3,2	0,0
Maduración	ABR	40,0	162,8	Seco	-122,8	0,0	0,0	40,0	122,8	0,0
Cosecha	MAY	94,0	178,1	Seco	-84,1	0,0	0,0	94,0	84,1	0,0
Cosecha	JUN	229,0	174,2	Húmedo	54,8	54,8	54,8	174,2	0,0	0,0
Cosecha	JUL	183,0	178,6	Húmedo	4,4	59,2	4,4	178,6	0,0	0,0
Cosecha	AGO	245,0	174,7	Húmedo	70,3	100,0	40,8	174,7	0,0	29,5
Cosecha	SEP	342,0	157,1	Húmedo	184,9	100,0	0,0	157,1	0,0	184,9
Floración	OCT	354,0	147,5	Húmedo	206,5	100,0	0,0	147,5	0,0	206,5
Floración	NOV	169,0	85,5	Húmedo	83,5	100,0	0,0	85,5	0,0	83,5
Fructificación	DIC	149,0	83,3	Húmedo	65,7	100,0	0,0	83,3	0,0	65,7
TOTAL		2073,0	1649,2							

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019)

### *Escenario RCP4.5 HADGEM2-ES: cambios en las temperaturas y disponibilidad de agua*

La temperatura cambia en promedio 1.1°C en Cárdenas y la estación Centro experimental W75, con una desviación estándar de 0.73 y 0.38. En Samaria, el cambio es de 1.3°C con una desviación de 0.37. Al igual que el escenario RCP4.5 GFDL-CM3, para el mes de junio en Cárdenas, se presenta una disminución de -1°C (Figura 6).

El comportamiento de la etapa de floración sería normal, ya que los valores de temperatura en este periodo oscilan los 24°C a 27°C. Para la etapa de fructificación, las temperaturas serían entre 23°C y 25°C. Durante la etapa de madurez las temperaturas fluctúan entre 27°C y 29°C. Este escenario es similar al GFDL-CM3 (Figura 7).

Las precipitaciones anuales en las estaciones Cárdenas y Centro experimental W75 disminuyen aproximadamente 100 mm del total anual, mientras que en Samaria aumentan 50 mm (Tabla 7). La evapotranspiración potencial anual se eleva en aproximadamente 200 mm en Cárdenas y Centro experimental W75 y 100 mm en Samaria. El balance hídrico en este escenario indica condiciones especiales en la región cacaotera de Tabasco. Por un lado, el periodo seco podría comenzar incluso en el mes de enero y prolongarse hasta mayo, es decir, tendría una duración de 4 a 5 meses. Por otro, las deficiencias hídricas en el suelo se mantienen en tres meses —de marzo a mayo— al igual que el escenario GFDL-CM3; no obstante, la duración del periodo donde se presenta el exceso de agua será de 5 a 8 meses, es decir, se reduce entre uno y dos meses en comparación con los otros escenarios.

## **Discusión**

El método empleado en esta investigación tiene como ventajas asociar los elementos del clima que influyen en el ciclo fenológico reproductivo del cacao, para obtener valores que apoyen, no solo a satisfacer las demandas de los cultivos, sino para su zonificación, planificación agrícola y establecimiento a corto, medio y largo plazo al considerar las variaciones del clima y la influencia de otros factores. Sin embargo los resultados de este trabajo pueden ser contrastados con otros métodos como los aplicados por Suárez *et al.* (2013); Espinosa-García, Uresti-Gil, Vélez-Izquierdo, Moctezuma-López, Inurreta-Aguirre y Góngora-González (2015); Ángeles Hernández y Montiel Gutiérrez (2018) y Vega Nevárez (2018). Las desventajas radican en la disponibilidad de datos climáticos y de observaciones fenológicas confiables, especialmente de especies frutales tropicales debido a la complejidad fenológica que pueden presentar los árboles, en comparación con los cultivos anuales; una alternativa es el empleo de una escala fenológica común como las que proponen Niemenak *et al.* (2010), Bridgemohan *et al.* (2016), y De Cara García, Ruiz y Barceló (2020). En cuanto a los cambios en las variables climáticas, será necesario experimentar con otros escenarios (RCP2.5, RCP6.0

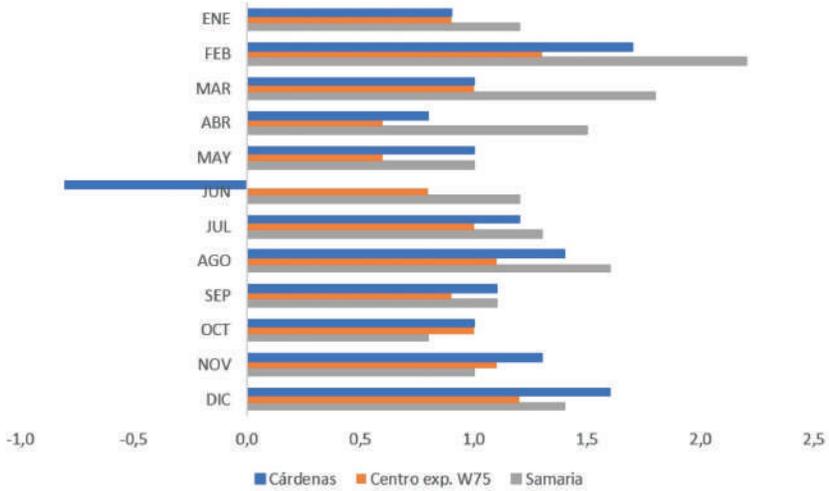


Figura 6. Cambio de temperatura mensual bajo escenario RCP4.5 HADGEM2-ES, 2015-2039. Fuente: Elaborada por los autores on base en CICESE (2019) y UNIATMOS (2015).



Figura 7. Comparación de las temperaturas en el ciclo reproductivo del cacao escenario RCP4.5 HADGEM2-ES, 2015-2039. Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019) y UNIATMOS (2015).

**Tabla 7**  
**Balances hídricos de las estaciones de referencia bajo escenario**  
**RCP4.5 HADGEM2-ES, 2011-2039**

Cárdenas										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	79,0	79,4	Seco	-0,4	99,6	0,4	79,4	0,0	0,0
Fructificación	FEB	50,0	79,7	Seco	-29,7	69,9	-29,7	79,7	0,0	0,0
Maduración	MAR	13,0	143,1	Seco	-130,1	0,0	-69,9	82,9	60,2	0,0
Maduración	ABR	32,0	160,2	Seco	-128,2	0,0	0,0	32,0	128,2	0,0
Cosecha	MAY	90,0	179,5	Seco	-89,5	0,0	0,0	90,0	89,5	0,0
Cosecha	JUN	237,0	174,4	Húmedo	62,6	62,6	62,6	174,4	0,0	0,0
Cosecha	JUL	204,0	175,0	Húmedo	29,0	91,6	29,0	175,0	0,0	0,0
Cosecha	AGO	239,0	171,6	Húmedo	67,4	100,0	8,4	171,6	0,0	59,0
Cosecha	SEP	355,0	153,4	Húmedo	201,6	100,0	0,0	153,4	0,0	201,6
Floración	OCT	402,0	141,5	Húmedo	260,5	100,0	0,0	141,5	0,0	260,5
Floración	NOV	139,0	84,4	Húmedo	54,6	100,0	0,0	84,4	0,0	54,6
Fructificación	DIC	115,0	81,8	Húmedo	33,2	100,0	0,0	81,8	0,0	33,2
<b>TOTAL</b>		<b>1955,0</b>	<b>1624,0</b>							

Centro experimental W75										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	94,0	78,7	Húmedo	15,3	100,0	0,0	78,7	0,0	15,3
Fructificación	FEB	32,0	77,8	Seco	-45,8	54,2	-45,8	77,8	0,0	0,0
Maduración	MAR	8,0	141,2	Seco	-133,2	0,0	-54,2	62,2	79,0	0,0
Maduración	ABR	41,0	160,2	Seco	-119,2	0,0	0,0	41,0	119,2	0,0
Cosecha	MAY	82,0	179,5	Seco	-97,5	0,0	0,0	82,0	97,5	0,0
Cosecha	JUN	259,0	173,6	Húmedo	85,4	85,4	85,4	173,6	0,0	0,0
Cosecha	JUL	205,0	175,0	Húmedo	30,0	100,0	14,6	175,0	0,0	15,4
Cosecha	AGO	262,0	170,9	Húmedo	91,1	100,0	0,0	170,9	0,0	91,1
Cosecha	SEP	363,0	153,4	Húmedo	209,6	100,0	0,0	153,4	0,0	209,6
Floración	OCT	409,0	141,5	Húmedo	267,5	100,0	0,0	141,5	0,0	267,5
Floración	NOV	181,0	83,4	Húmedo	97,6	100,0	0,0	83,4	0,0	97,6
Fructificación	DIC	113,0	80,8	Húmedo	32,2	100,0	0,0	80,8	0,0	32,2
<b>TOTAL</b>		<b>2049,0</b>	<b>1616,1</b>							

Samaria										
ETAPA	MES	PREC (mm)	ETP (mm)	H/S THORN	P-ETP (mm)	R (mm)	VR (mm)	ETR (mm)	F (mm)	EX (mm)
Fructificación	ENE	99,0	81,8	Húmedo	17,2	100,0	0,0	81,8	0,0	17,2
Fructificación	FEB	56,0	81,9	Seco	-25,9	74,1	-25,9	81,9	0,0	0,0
Maduración	MAR	27,0	149,0	Seco	-122,0	0,0	-74,1	101,1	47,9	0,0
Maduración	ABR	30,0	163,5	Seco	-133,5	0,0	0,0	30,0	133,5	0,0
Cosecha	MAY	88,0	179,5	Seco	-91,5	0,0	0,0	88,0	91,5	0,0
Cosecha	JUN	238,0	175,0	Húmedo	63,0	63,0	63,0	175,0	0,0	0,0
Cosecha	JUL	191,0	175,7	Húmedo	15,3	78,3	15,3	175,7	0,0	0,0
Cosecha	AGO	239,0	173,9	Húmedo	65,1	100,0	21,7	173,9	0,0	43,4
Cosecha	SEP	345,0	155,7	Húmedo	189,3	100,0	0,0	155,7	0,0	189,3
Floración	OCT	373,0	141,7	Húmedo	231,3	100,0	0,0	141,7	0,0	231,3
Floración	NOV	167,0	84,9	Húmedo	82,1	100,0	0,0	84,9	0,0	82,1
Fructificación	DIC	129,0	83,0	Húmedo	46,0	100,0	0,0	83,0	0,0	46,0
<b>TOTAL</b>		<b>1982,0</b>	<b>1645,5</b>							

Fuente: Elaborada por los autores con base en CICESE (2019)

y RCP8.5) y modelos (CNRM, MPI-ESM-LR, entre otros) para los horizontes medio (2045 -2069) y lejano (2075 -2099) y asociarlos a la fenología del cacao.

Las condiciones climáticas en la región de estudio son las adecuadas para que el cacao cumpla satisfactoriamente su ciclo fenológico. Para los escenarios de cambio climático, los resultados muestran que las modificaciones en las temperaturas no serán elevadas; en promedio se aumentan 1°C, mientras que las precipitaciones disminuyen entre 100 y 200 mm del total anual, con 4 a 5 meses de precipitaciones mínimas a los 100 mm que se sugieren en la literatura (Hardy, 1960; Enríquez, 1985; Suárez Venero, 2006; ICCO, 2018; Bunn *et al.*, 2019). Lo anterior ocasionaría un aumento en la evapotranspiración potencial entre 3 y 5 meses (entre enero y mayo). Ruíz *et al.* (2012) incluyen a la región productora de cacao en Tabasco dentro del área con déficit hídrico anual entre moderado y alto (90-184 mm). Como mencionan Leal *et al.* (1999), el cacao es extremadamente sensible a las reducciones de humedad en el suelo mucho antes de que se encuentre tan seco que las raíces no puedan absorber el agua. Para que las condiciones de humedad del suelo se consideren óptimas, deben mantenerse valores cercanos a la capacidad de campo (Torres Ruiz, 1995; Carr y Lockwood, 2011; García Lozano y Moreno Fonseca, 2016). Los efectos que puede provocar el déficit hídrico en la fenología del cacao son: descoloramiento y caída temprana de hojas, inhibición de la floración, producción de vainas más pequeñas, madurez temprana del fruto, entre otros (Carr y Lockwood, 2011). Estos efectos pueden incrementarse dadas las condiciones ambientales futuras, tal como lo han referido otros estudios para diversos cultivos Villers, Arizpe, Orellana, Conde y Hernández (2009); Jorquera-Fontena y Orrego-Verdugo (2010); Granados Ramírez y Sarabia Rodríguez (2013); Chicahuala, Steinaker y Demaría (2018). Además, habría que profundizar en las consecuencias que el aumento de la temperatura provocaría en la distribución de recursos en las plantas (Yepes y Buckeridge, 2011), en los procesos de polinización (Castellanos-Potenciano, Gallardo-López, Sol-Sánchez, Landeros-Sánchez, Díaz-Padilla, Sierra-Figueroa y Santivañez-Galarza, 2016; Maglianesi Sandoz, 2016; Maglianesi Sandoz y Jones Román, 2016; Obeso y Herrera, 2018), o el incremento en la diversidad genética (Alvarado Vázquez, Foroughbakhch Pournavab, Jurado Ybarra y Rocha, 2002; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015).

Por último, estos desequilibrios ambientales pueden restringir o aumentar las zonas aptas para el cacao. En algunas zonas de África, ha resultado que el clima del futuro no sería adecuado en las ubicaciones actuales de cacao y que podría considerarse una transformación a otros cultivos (Läderach *et al.*, 2013; Bunn *et al.*, 2019). Torquebiau *et al.* (2015) mencionan que la probable disminución de la producción en áreas de Costa de Marfil y Ghana será principalmente por las condiciones secas más que por el aumento de temperatura para el 2050. Eitzinger *et al.* (2015) señalan que para esa misma década, la región productora con condiciones óptimas para el cacao en Trinidad y Tobago no sufriría grandes cambios (menores a 15%), pero las reducciones de las lluvias en la temporada seca serán las causantes de una reducción en el rendimiento de las plantas. Recientemente, Fischer *et al.* (citado en Tramberend, 2020) han presentado

escenarios donde las áreas con las mejores condiciones en Ghana se reducirán del 32% al 58% para el 2050.

## Conclusiones

La región productora en Tabasco posee las condiciones climáticas adecuadas para que el cacao logre su ciclo reproductivo. Los escenarios ocupados en este trabajo, indican que los cambios en la temperatura en promedio no serán elevadas, sin embargo, si se conjuga con la disminución y variabilidad de la precipitación, podrían producirse en el corto plazo condiciones que alteren la duración de las etapas de fructificación y madurez del fruto del cacao. Esta situación puede repercutir en el rendimiento, producción y poner en riesgo de permanencia de las plantaciones.

## Bibliografía

- ABDULAI, Issaka; VAAST, Philippe; HOFFMANN, Munir P.; ASARE, Richard; JASSOGNE, Laurence; VAN ASTEN, Piet; RÖTTER, Reimund P.; y GRAEFE, Sophie. (2018). “Cocoa Agroforestry Is Less Resilient to Suboptimal and Extreme Climate Than Cocoa in Full Sun”. *Global change biology*, 24(1), 273-286. doi.org/10.1111/gcb.13885
- ALMOROX, Javier. (2003). *Climatología aplicada al medio ambiente y agricultura*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- ALTIERI, Miguel A. y Nicholls, Clara Inés. (2013). “Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas”. *Agroecología*, 8(1), 7-20.
- ALVARADO VÁZQUEZ, Marco Antonio; FOROUGHBAKHCH POURNAVAB, Rahim; JURADO YBARRA, Enrique; y ROCHA, Alejandra. (2002). “El cambio climático y la fenología de las plantas”. *Ciencia UANL*, 5(4), 493-500.
- ANDRADES GRASSI, Jesús Enrique; TORRES MANTILLA, Hugo Alexander, LÓPEZ HERNÁNDEZ, Juan Ygnacio; y ROJAS POLANCO, María. (2019). “Análisis espacio temporal de la homogeneidad de estaciones de precipitación en una zona árida y semi árida del Centro Occidente de Venezuela”. *Ciencia e Ingeniería*, 40(2), 185-194.
- ÁNGELES HERNÁNDEZ, Juan Manuel; y MONTIEL GUTIÉRREZ, Mario Alberto. (2018). “La tecnificación del riego como medida de adaptación al cambio climático en el distrito de riego 034 estado de Zacatecas”. En René Lobato Sánchez y Abril Adirana Ariana Pérez Canales (Coords.), *Agua y cambio climático*. México: IMTA. 138-153.
- ARBELÁEZ ARIAS, Lina María. (2010). *Análisis de la diversidad genética intraespecie de Moniliophthora roeri (Cif) Evans et al. por medio de marcadores morfológicos y genéticos*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado el 12 de abril de 2020 de <http://bdigital.unal.edu.co/1938/>.

- ARTEAGA RAMÍREZ, Ramón; y ROMO GONZÁLEZ, José R. (1983). *Meteorología Agrícola*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- ÁRVELO SÁNCHEZ, Miguel Ángel; GONZÁLEZ LEÓN, Diego; MAROTO ARCE, Steven; DELGADO LÓPEZ, Tanya; y MONTOYA RODRIGUEZ, Paola. (2017). *Manual técnico de cultivo de cacao. Prácticas latinoamericanas*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- BENKEBLIA, Noureddine; MCHENRY, Melinda T.; CRISP, Jake; y ROUDIER, Philippe. (2018). “Tropical Crops and Resilience to Climate Change”. En Noureddine Benkeblia (Ed.), *Climate Change and Crop Production: Foundations for Agroecosystem Resilience*. Boca Raton: CRC Press. 83-108.
- BRIDGEMOHAN, Puran; MOHAMED, Musa El Sharief; MOHAMMED, Majeed; SINGH, Kimberly; y BRIDGEMOHAN, Ronell Shamir Hemsley. (2016). “The Application of BBCH Scale for Codification and Illustrations of the Floral Stages of Caribbean Fine Cacao *Theobroma cacao* L”. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, (6), 1-10. doi.org/10.17265/2161-6256/2016.01.001
- BOULAY, Michael; SOMARRIBA, Eduardo; y OLIVIER, Alain. (2000). “Fenología de cacao de árboles de sombra en Talamanca Costa Rica”. *Agroforestería en las Américas*, 7(26), 43-45.
- BUNN, Christian; LÄDERACH, Peter; QUAYE, Amos; MUIRLERMAN, Sander; NOPONEN, Martin R. A.; y LUNDY, Mark. (2019). “Recommendation Domains to Scale Out Climate Change Adaptation in Cocoa Production in Ghana”. *Climate Services*, 16, 1-12. doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100123
- BUNN, Christian; LUNDY, M.; WIEGEL, J.; y CASTRO-LLANOS, F. (2019). *Impacto del cambio climático en la producción de cacao para Centroamérica y El Caribe*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- BURGOS, Juan; y REYES, H. (1965). “Tipos agroclimáticos mundiales del cacaotero”. *Agronomía Tropical*, 15(1-4), 169-191.
- CAMPOS ARANDA, Daniel Francisco. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México: Trillas.
- CAMPOS ARANDA, Daniel Francisco. (2015). “Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años”. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 16(3), 355-368.
- CARR, M. K. V.; y LOCKWOOD, G. (2011). “The Water Relations and Irrigation Requirements of Cocoa (*Theobroma cacao* L.): A Review”. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653-676. doi.org/10.1017/S0014479711000421
- CASTELLANOS-POTENCIANO, Blanca Patricia; GALLARDO-LÓPEZ, Felipe; SOL-SÁNCHEZ, Ángel; LANDEROS-SÁNCHEZ, Cesáreo; DÍAZ-PADILLA, Gabriel; SIERRA-FIGUEREDO, Pablo; y SANTIVAÑEZ-GALARZA, José Luis. (2016). “Impacto potencial del cambio climático en la apicultura”. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 1-19. doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5673
- CASTRO, Lina M.; y CARVAJAL ESCOBAR, Yesid. (2010). “Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas”. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 15-25.

- CASTRO MUÑOZ, Cindy Paola; PANDURO TENAZOA, Nadia Masaya; VELAZCO CASTRO, Ena Vilma; e ITURRARAN PINTO, Elsa Scarlet. (2017). “Evaluación de la fenología reproductiva y dinámica de la producción del cultivo (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51”. *Big Bang Faustiniiano*, 6(1), 38-42.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA (CICESE). (2019). *Base de datos del CLICOM* (en línea). Recuperado el 20 de mayo de 2010 de <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>
- CHICAHUALA, Martín S.; STEINAKER, Diego F.; y DEMARÍA, Manuel R. (2018). “Respuestas fenológicas de gramíneas C3 y C4 a variaciones interanuales de precipitación y temperatura”. *Ecología Austral*, 28(2), 455-466. doi.org/10.25260/EA.18.28.2.0.658
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). (2011). *Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación: Memoria del seminario internacional realizado en Santiago, los días 10 y 11 de noviembre de 2010*. Santiago: CEPAL.
- DE ALMEIDA, Alex-Alan F.; y VALLE, Raúl R. (2007). “Ecophysiology of the cacao tree”. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425-448. doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011
- DE CARA GARCÍA, Juan Antonio; RUIZ LÓPEZ, Carlos; y BARCELÓ, Antonio Mestre. (2020). “Adaptación del código BBCH a la observación fenológica de la AEMET”. En *XXX Jornadas Científicas de la AME y el 9º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología* (en línea). Zaragoza: Asociación Meteorológica Española.
- DOSTERT, Nicolas; ROQUE, José; CANO, Asunción; LA TORRE, María I.; y WEIGEND, Maximilian. (2011). *Hoja Botánica: cacao. Theobroma cacao L.* Lima: Cooperación Alemana al Desarrollo; Agencia de la GIZ.
- EITZINGER, Anton; FARRELL, Aidan; RHINEY, Kevon; CARMONA, Stephania; Van Loosen, Irene; y TAYLOR, Michael. (2015). “Trinidad & Tobago: Assessing the Impact of Climate Change on Cocoa and Tomato”. *CIAT Policy Brief No. 27*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- ENRÍQUEZ, Gustavo. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: IICA; CATIE.
- ESPINOSA-GARCÍA, José Antonio; URESTI-GIL, Jesús; VÉLEZ-IZQUIERDO, Alejandra; MOC-TEZUMA-LÓPEZ, Georgel; INURRETA-AGUIRRE, Héctor Daniel; y GÓNGORA-GONZÁLEZ, Sergio Fernando. (2015). “Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1051-1063. doi.org/10.29312/remexca.v6i5.598
- FERNÁNDEZ EGUIARTE, Agustín; ZAVALA HIDALGO, Jorge; ROMERO CENTENO, Rosario; CONDE ÁLVAREZ, Ana Cecilia; y TREJO VÁZQUEZ, Rosa Irma. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2015). *Coping with Climate Change. The Roles of Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.

- GARCÍA, Enriqueta. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- GARCÍA, Enriqueta; y COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). (1998). *Isotermas Medias Anuales. Escala 1:1000000*, México.
- GARCÍA LOZANO, Jairo; y MORENO FONSECA, Liz Patricia. (2016). “Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo”. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50. doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161
- GÓMEZ M., Álvaro; y AZÓCAR, Aura. (2002). “Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el Estado de Mérida”. *Agronomía Trópica*, 52(4), 403-425.
- GRANADOS RAMÍREZ, Rebeca; y SARABIA RODRÍGUEZ, Asael Alejandro. (2013). “Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca”. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 435-446. doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1204
- GUAJARDO, Rafael; GRANADOS, Guadalupe; SÁNCHEZ, Ignacio; DÍAZ, Gabriel; y BARBOSA, Finlandia. (2017). “Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México”. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(5), 157-177. doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-11
- HARDY, Frederick. (1960). *Cacao Manual*. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- HUTCHINS, Ashley; TAMARGO, Ana; BAILEY, Caroline; y KIM, Yeongmi. (2015). “Assessment of Climate Change Impacts on Cocoa Production and Approaches to Adaptation and Mitigation: A Contextual View of Ghana and Costa Rica” (en línea).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (2014). *Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional), escala: 1:250000*. México: INEGI.
- INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION (ICCO). (2018). *Mercado mundial del cacao*.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo I. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. Suiza: IPCC.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2015). *Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo*. Ginebra: OMM-PNUMA.
- JOHNSON, James M.; BONILLA, Julio C.; y AGÜERO CASTILLO, Liana. (2008). *Manual de Manejo de Producción del Cacaotero* (en línea). Nicaragua.
- JORQUERA-FONTENA, Emilio; y ORREGO-VERDUGO, Raúl. (2010). “Impacto del calentamiento global en la fenología de una variedad de vid cultivada en el Sur de Chile”. *Agrociencia*, 44(4), 427-435.
- LÄDERACH, P.; MARTÍNEZ-VALLE, A.; SCHROT, G.; y CASTRO, N. (2013). “Predicting the Future Climatic Suitability for Cocoa Farming of the World’s Leading Producer Countries, Ghana and Cote d’Ivoire”. *Climatic Change*, 119(3-4), 841-854. doi.org/10.1007/s10584-013-0774-8
- LEAL, Freddy; AVILÁN, Luis; y VALDERRAMA, Emilia. (1999). “Áreas potenciales para el desarrollo del cacao en Venezuela”. *Revista Agroalimentaria*, 5(8), 39-45.

- LÓPEZ FELDMAN, Alejandro J.; y HERNÁNDEZ CORTÉS, Danae. (2016). “Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina”. *El Trimestre Económico*, 83(332), 459-496.
- LÓPEZ GUEMEZ, A. del R.; PALMA GONZÁLEZ, B; HERNÁNDEZ RIVERA, M.A.; OJEDA MORALES, M. E.; ÁNGELES PADILLA, A.; RUIZ NÁJERA, J. A.; y GARCÍA MARÍN, M. J. (2007). “Caracterización fisicoquímica de los suelos predominantes en el estado de Tabasco”. *Conciencia Tecnológica*, (34), 45-46.
- MAGLIANESI SANDOZ, María Alejandra. (2016). “Efectos del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América Tropical”. *Revista Ingeniería*, 26(1), 11-20.
- MAGLIANESI SANDOZ, María Alejandra; y JONES ROMÁN, Gabriela. (2016). “Efecto del cambio climático sobre las interacciones planta-animal y sus consecuencias sobre los ecosistemas”. *Biocenosis*, 30(1-2), 70-79.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, PERÚ. (s.f). “Ficha técnica No. 11. Requerimientos agroclimáticos del cultivo de cacao” Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, PERÚ. (2011). “Cartilla Número 13. Condiciones Agroclimáticas del Cultivo del Cacao”. Perú: Ministerio de Agricultura.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, PERÚ. (2012). *Manual técnico del cultivo de cacao blanco de Piura*. Piura, Perú: Ministerio de Agricultura.
- NELSON, Gerald C.; ROSEGRANT, Mark W.; KOO, Jawoo; ROBERTSON, Richard; SULSER, Timothy; ZHU, Tingju; RINGLER, Claudia; MSANGI, Siwa; PALAZZO, Amanda; BATKA, Miroslav; MAGALHAES, Marilia; VALMONTE-SANTOS, Rowena; EWING, Mandy; y LEE, David. (2009). *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: Intituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI).
- NIEMENAK, Nicolas; CILAS, C.; ROHSIUS, C.; BLEIHOLDER, H.; MEIER, U.; and LIEBEREL, R. (2010). “Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): Codification and description according to the BBCH scale”. *Annals of Applied Biology*, (156), 13-24. doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x
- OBESO, José Ramón; y HERRERA, José Manuel. (2018). “Polinizadores y cambio climático”. *Ecosistemas*, 27(2), 52-59. doi.org/10.7818/ECOS.1371
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). (2018). *Guía de Prácticas climatológicas Edición de 2018*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). (2019). *Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad. Edición de 2019*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- PASCALE, Antonio. J.; y DAMARIO, Edmundo A. (2004). *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- RAMOS-REYES, Rodimiro; PALMA-LÓPEZ, David J.; ORTIZ-SOLORIO, Carlos A.; ORTIZ-GARCÍA, Carlos F.; y DÍAZ-PADILLA, Gabriel. (2004). “Cambios de uso de suelome-diante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera”. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 267-278.

- ROJAS, Fernando; y SACRISTÁN SÁNCHEZ, Edwin Javier. (2013). *Guía ambiental para el cultivo del cacao*. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Federación Nacional de Cacaoteros.
- RUIZ-ÁLVAREZ, O.; ARTEAGA-RAMÍREZ, R.; VÁZQUEZ-PEÑA, M.A.; ONTIVEROS CAPTURADA, R. E.; y LÓPEZ-LÓPEZ, R. (2012). “Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México”. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 1-14.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). (2012). *Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Cacao (Theobroma cacao L.)*. México: SAGARPA, INIFAP.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). (2017). *Planeación agrícola Nacional 2017-2030. Cacao mexicano*. México: SAGARPA, INIFAP.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). (2017). *Anuario estadístico de la producción agrícola* (en línea).
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). (2018). *Atlas agroalimentario*. México: SAGARPA, SIAP.
- SUÁREZ, Giclis M., FLORIDO BACALLAO, René, SOTO CARREÑO, Francisco; y CABALLERO NÚÑEZ, Alberto. (2013). “Bases para la zonificación agroecológica en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos”. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 30-37.
- SUÁREZ VENERO, Giclis M. (2006). *Zonificación agroecológica de Theobroma cacao L., para el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa*. El Salvador: Centro de Desarrollo de la Montaña, CITMA.
- SUÁREZ VENERO, Giclis M.; SOTO CARREÑO, Francisco, GAREA LLANOS, Eduardo; y SOLANO OJEDA, Oscar J. (2015). “Caracterización agroclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, en función de la zonificación agroecológica para el cacao (*Theobroma cacao L.*)”. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 23-28.
- THOMSON, Allison M.; CALVIN, Katherine V.; SMITH, Steven J.; KYLE, G. Page; VOLKE, April; Patel, Pralit; DELGADO-ARIAS, Sabrina; BOND-LAMBERTY, Ben; WISE, Marshal A.; CLARKE, Leon E.; y EDMONDS, James A. (2011). “RCP4. 5: A Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100”. *Climatic Change*, (109), 77-94. doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4
- TORQUEBAU, Emmanuel; MANLEY, David; y COWAN, Paul. (2015). *Climatic Change and Agriculture Worldwide*. Heidelberg: Springer.
- TORRES RUIZ, Edmundo. (1995). *Agrometeorología*. México: Trillas.
- TRAMBEREND, Sylvia. (2020). “High-end Climate Change Impacts on Crop Production” (en línea). *EGU 2020: Sharing Geoscience Online*. International Institute for Applied Systems Analysis. Recuperado el 13 de abril de 2020 de [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/16429/1/EGU2020-8955\\_presentation.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/16429/1/EGU2020-8955_presentation.pdf)
- UNIDAD DE INFORMÁTICA PARA LAS CIENCIAS ATMOSFÉRICAS Y AMBIENTALES (UNIATMOS). (2015). *Bases de datos y metadatos* (en línea). Atlas climático digital <http://atlas-climatico.unam.mx/atlas/kml/>

- VEGA NEVÁREZ, Ramiro. (2018). “Metodología para determinar la frecuencia, ocurrencia, duración, intensidad y severidad de la sequía intraestival (canícula), con fines de manejo agronómico y adaptación al cambio climático de los cultivos de temporal”. En René Lobato Sánchez y Abril Ariana Pérez (Coords.), *Agua y cambio climático*. México: IMTA. 105-137.
- VILLALPANDO IBARRA, José Francisco; y RUIZ CORRAL, José Ariel. (1993). *Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura*. México: UTHEA Noriega Editores.
- VILLERS, Lourdes; ARIZPE, Nancy; ORELLANA, Roger; CONDE, Cecilia; y HERNÁNDEZ, Josefina. (2009). “Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México”. *Interciencia*, 34(5), 322-329.
- YEPES, Adriana; y BUCKERIDGE, Marcos Silveira. (2011). “Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión)”. *Colombia Forestal*, 14(2). 213-232.

## Cuencas atmosféricas, una variable ambiental para la planificación territorial. Estudio de caso: Valle de Sogamoso, Boyacá, Colombia

### *Airsheds—An Environmental Variable for Territorial Planning: A Case Study of Sogamoso Valley, Boyacá, Colombia*

Alfonso AVELLANEDA-CUSARÍA  
Universidad El Bosque  
Colombia

Daniela CAMELO-OLARTE  
Profesional en ingeniería ambiental  
Colombia

Natalia VALBUENA-CHÁVEZ  
Profesional en ingeniería ambiental  
Colombia

Ernesto CAETANO  
Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Clemente LÓPEZ-BRAVO  
Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

### **Resumen**

Se presenta el análisis preliminar de cuencas atmosféricas con origen en el Valle de Sogamoso, Boyacá, Colombia, mediante la modelación del comportamiento de las parcelas de aire como herramienta para la planificación territorial. El estudio de caso se sitúa en uno de los corredores industriales de mayor emisión de contaminantes en Colombia, por tanto, es importante conocer el comportamiento de las variables meteorológicas, la topografía de la zona y la dinámica atmosférica que allí se desarrolla como consecuencia de relacionar las dos variables, para lograr la conformación y delimitación de la cuenca atmosférica. Se calculó por medio del modelo HYSPLIT, las trayectorias de parcelas de aire hacia adelante durante los meses de febrero y abril, estableciendo las temporadas secas y húmedas del año 2015. Se observó la circulación de parcelas

de aire provenientes del Valle, hacia territorios que han presentado altos índices en contaminación atmosférica para el contaminante  $PM_{10}$  y se evidenció la relación de las variables meteorológicas y topográficas para delimitar la cuenca. Se proponen criterios para la planificación y ordenamiento territorial desde el enfoque de cuencas atmosféricas como unidad de gestión regional y apoyo a los sistemas de monitoreo de calidad del aire, con el fin de establecer una variable ambiental como eje principal para la toma de decisiones territoriales.

**Palabras clave:** planificación territorial, cuencas atmosféricas, parcelas de aire, trayectorias de parcelas, dinámica atmosférica

## Abstract

A preliminary characterization analysis of airshed originating in Sogamoso Valley, Boyacá, using air parcel trajectories as a tool for territorial planning. In this context, in order to establishing and identify the probably border of airshed was based on knowing the behavior of the meteorological variables and topography of the study area, was calculated with the HYSPLIT model air parcel trajectories during the months of February and April where the dry and wet seasons of 2015 were established. Results allow identify a possible connection with air quality and the circulation of air parcel from Sogamoso Valley a study area where one of the industrial corridors with the highest emission of pollutants is located, to other regions that have presented high air pollution indices for the  $PM_{10}$  pollutant and the relationship of meteorological and topographic variables for the demarcation of the airshed was evidenced. From this it is proposed this methodology as criteria for territorial planning as a management unit and support for air quality monitoring systems, in order to establish an environmental variable as main axis for territorial decision making.

**Keywords:** territorial planning, airshed, air parcel, trajectories, atmospheric dynamics, air pollution

---

## Introducción

Los procesos de planificación territorial en Colombia se han modificado de acuerdo con la necesidad de implementar metodologías que incluyan al componente ambiental como eje principal en la gestión del territorio, en el que se reconozcan los reales problemas asociados a las transformaciones del medio rural y urbano, e incorporando una planificación encaminada a una relación entre ambiente y un desarrollo sostenible (Rengifo, 2012). A partir de esto, se deberían definir nuevos componentes socio-ecológicos para

la toma de decisiones a escala municipal, regional o departamental que establezcan las bases para lograr la sostenibilidad en el territorio, tomando en cuenta los ejercicios de ordenamiento territorial como la ha sido la Estructura Ecológica Principal (EEP), las cuencas hidrográficas o la zonificación ecológica permitiendo fortalecer la gestión ambiental territorial (Márquez y Valenzuela, 2008; Villegas Rodríguez, 2014).

Como respuesta ante la necesidad de crear mecanismos que permitan la organización territorial basada en los componentes de los sistemas socio-ecológicos, el presente estudio de caso pretende utilizar preliminarmente el concepto de las cuencas atmosféricas como una herramienta en la planificación territorial en el Valle de Sogamoso, pues es una zona en la que confluyen factores naturales y antrópicos como el espacio geográfico definido a partir de variables topográficas y meteorológicas, así como la influencia de fuentes de emisión contaminantes, o por el transporte de contaminación atmosférica desde otras regiones.

De acuerdo con la Environmental Protection Agency (EPA), es imprescindible comprender la meteorología, la contaminación, la influencia y la dispersión de las sustancias emitidas (EPA, 1982), ya que esta información permite desarrollar planes orientados a diagnosticar y predecir el impacto ambiental (Iniestra y Caetano, 2008a), evitando la generación de conflictos por el uso y la ocupación inadecuada del espacio. Contrario a esta directriz, se advierte que las estrategias implementadas en áreas industriales de Boyacá han resultado insuficientes frente al control de emisiones, y por ende prevaleciendo eventos de contaminación permanente que sumado a las condiciones meteorológicas desfavorables inducen a la afectación de la salud pública (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016a: 156-157).

El uso de cuencas atmosféricas permite el conocimiento detallado de la atmósfera a través de la modelación meteorológica, incluyendo la calidad del aire como instrumento de apoyo para la toma de decisiones desde un marco político, social y ambiental (Iniestra y Caetano, 2008b).

El objetivo de la investigación fue identificar de manera preliminar las cuencas atmosféricas en el Valle de Sogamoso, Boyacá, ubicado en la región norandina, mediante la simulación del comportamiento de la circulación atmosférica regional. De acuerdo con esto, se llevó a cabo una revisión de las condiciones climáticas y meteorológicas de Colombia y localmente del Valle de Sogamoso durante el periodo de 1981-2010 y el año 2015, con el fin de identificar el comportamiento de las variables de viento, temperatura, precipitación y humedad relativa en una escala regional y local y la influencia de la topografía presentado en el Valle como un factor determinante para la comprensión de los fenómenos meteorológicos.

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron los posibles periodos en los cuales las condiciones meteorológicas podrían favorecer o no la dispersión y el transporte de contaminantes atmosféricos emitidos desde la zona de estudio. Las parcelas de aire se analizaron con el modelo Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPPLIT) (Stein, Draxler, Rolph, Stunder y Cohen, 2015). Para ello se estableció una estación seca y una húmeda, donde los periodos secos impiden que

los contaminantes se dispersen debido a vientos débiles, y en periodos húmedos se limita y disminuye su concentración por la precipitación (lavado atmosférico).

Los resultados obtenidos con el modelo revelaron las frecuencias con las cuales las trayectorias son transportadas de una región a otra, definiendo los límites probables de la cuenca atmosférica basados en criterios de topografía y meteorología, esto con el fin de conocer cuál es la influencia de las emisiones del Valle de Sogamoso sobre otras regiones. Por último, se proponen criterios para la planificación y gestión ambiental territorial a partir de las cuencas atmosféricas como herramienta útil para este propósito.

Si bien los resultados de la investigación se han socializado ante entidades públicas y privadas, aun no se ha consolidado el concepto de cuencas atmosféricas en los procesos de planificación, aun así, este término se ha logrado expandir y en algunas ciudades como Medellín ha sido acogido mediante acuerdos metropolitanos que adopta el plan de descontaminación del aire en áreas metropolitanas. Aun se sigue presentando los resultados y la factibilidad del proyecto ante entidades gubernamentales para lograr consolidar la variable en las metodologías de planificación.

## Área de estudio

La región de estudio seleccionada es el Valle de Sogamoso, Boyacá, Colombia, ubicado sobre la cordillera oriental de los Andes a una altura de 2,568 m s. n. m. y con una superficie de 388 km<sup>2</sup>, el cual forma parte de la región Andina. El Valle está integrado por los municipios de Belencito, Nobsa y Tibasosa al norte; Duitama, Paipa y Tuta en el centro; y Combita y Tunja al sur del Valle (Uribe Barón y Suárez Araque, 2009). Este territorio es considerado una zona de depresión topográfica alargada, ubicado en dirección Suroeste-noreste de la cordillera Oriental de los Andes y hacia el norte por el Macizo Iguaque. Comprende elevaciones desde 2,556 a 3,523 m s. n. m., limita con la Loma Carrizal y el Cerro Tugón y en el interior de esta zona pasa el Río Chicamocha (Figura 1), conformando parte de la región de Boyacá.

En la zona de estudio se encuentra uno de los corredores industriales de mayor emisión de contaminantes de las cinco regiones continentales de Colombia (Uribe Barón *et al.*, 2009), el cual posee una longitud de 87.6 km y junto a este se sitúan industrias de gran importancia a nivel nacional e internacional. En la ciudad de Tunja predomina el uso de hornos para la fabricación de ladrillos y la industria de Licores Boyacá; en Nobsa la actividad industrial cementera con empresas como Argos y Holcim, Acerías Paz del Río y en Sogamoso, en el sector metalúrgico, se encuentra la industria militar Indumil y la siderúrgica Sidenal, para Duitama, se destaca el sector transporte con Autobuses AGa e Invicar, así como Postobón como industria de producción de bebidas (Rodríguez, 2002), en Tibasosa la producción de bebidas con la planta de Bavaria y por último, tres unidades de la termoeléctrica Gensa y la Unidad Termosochagota en Paipa e industrias artesanales que se destacan por ser los mayores aportantes de contaminación atmosférica del Valle.



## Metodología

No existe una definición única y concreta de cuencas atmosféricas ni metodologías para delimitar una cuenca, por lo cual, la presente investigación para Colombia, tuvo como referencia la definición de cuencas atmosféricas, la metodología propuesta por Iniestra *et al.* (2008a), se fundamenta en conocer el comportamiento de las principales variables meteorológicas, la topografía de la zona de estudio y cómo éstas variables pueden influir en la dispersión y transporte de contaminantes a través de las parcelas de aire.

A partir de esta información, para el estudio de caso del Valle de Sogamoso, se usó el modelo HYPPLIT, un modelo que realiza el cálculo de trayectorias, concentraciones y dispersión en conjunto con datos meteorológicos. A diferencia de otros modelos, este permite el análisis atmosférico a través de una descripción matemática, estableciendo una relación causa-efecto (Draxler y Rolph, 2003). Es así como se describe, la manera en que una parcela de aire se mueve bajo el efecto de los vientos dominantes a grandes distancias y allí, no se considera que exista un intercambio entre la parcela y su alrededor. Ver anexos.

El modelo considera los datos meteorológicos globales en conjunto con datos de contaminantes atmosféricos con el fin de analizar trayectorias de parcelas de aire hacia adelante, de acuerdo con un tiempo determinado, para obtener como resultado, mediante la técnica estadística de clúster, una dirección preferencial, la cual delimitó la cuenca atmosférica.

## Datos meteorológicos en Colombia

La revisión meteorológica y climática realizada para Colombia se basó en dos periodos: el primero entre los años 1981-2010, como línea base climatológica del país y el segundo para el año 2015, teniendo en cuenta que la caracterización de la cuenca puede variar de acuerdo con las condiciones climatológicas presentadas y los fenómenos extremos que pueden influir sobre el patrón de la cuenca. Se seleccionó este año debido a la influencia climática del fenómeno del Niño, y dado este evento se presentaron particularidades respecto al comportamiento atmosférico que afectó seriamente varias regiones de Colombia. Así mismo, en el Informe del Estado Nacional de Calidad del Aire (IDEAM, 2012a) se reportó que el año 2015 presentó altos índices de contaminación atmosférica, y bajo estos hallazgos se examinaron qué elementos se podrían extraer para la planificación del territorio.

Para esto se utilizaron las bases de datos de Reanálisis (Kalnay *et al.*, 1996), disponibles en la página web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Se seleccionaron las variables de temperatura, magnitud y dirección del viento con niveles de presión de 300, 500, 600, 700 y 925 hectopascales (hPa); la humedad

relativa se obtuvo de la base ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011) y los datos de precipitación total de la Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Braun y Kakar, 2008). Éstas son variables de insumo para la elaboración de mapas climatológicos que permitieron determinar el comportamiento de las parcelas de aire dentro de la cuenca al hacer uso del modelo HYSPLIT.

Estos datos se encuentran en superficie de 10 m (0.995 sigma), con resolución de 2.5°, la cual proporciona una representación regional de las variables descritas y que, para este estudio de caso, apoyaron en la comprensión de las condiciones y patrones de gran escala del país que determinan las trayectorias de las parcelas de aire.

Una vez obtenidos los datos, se realizaron los cálculos correspondientes a la climatología según las fechas seleccionadas de las variables, y el respectivo análisis meteorológico y climatológico de cada una en los periodos mencionados.

## **Datos meteorológicos y de calidad del aire en el Valle de Sogamoso**

Se obtuvo información de estaciones meteorológicas para el Valle de Sogamoso, de la base de datos se seleccionaron las variables de viento, temperatura, humedad relativa y precipitación de los periodos 1981-2010 y para el año 2015. Por otra parte, se contó con datos de calidad del aire en las principales ciudades de Duitama, Nobsa, Paipa, Sogamoso y Tunja, seleccionando las estaciones la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de: El Recreo, Nazareth, La Ramada y Hospital administradas por la autoridad ambiental regional Corpoboyacá, así mismo, se requirió conocer información acerca de la estabilidad atmosférica dada en el Valle de Sogamoso a través de estudios de calidad de aire realizados en la zona. La representación gráfica y análisis de estos datos permitieron la caracterización climatológica de la zona de estudio junto a la evidencia de los episodios críticos de contaminación dados durante el periodo del año 2015 para el contaminante  $PM_{10}$ .

## **Modelo y simulaciones**

Con el uso del modelo HYSPLIT (Draxler *et al.*, 2003) se exploró el movimiento de las parcelas de aire hacia adelante en la región de Boyacá y específicamente en el Valle de Sogamoso, estableciendo como parámetros de entrada al modelo los siguientes datos: NCEP/NCAR Reanálisis (Kalnay *et al.*, 1996); elevaciones de 750, 1,500 y 2,500 metros sobre el nivel del suelo (m s. n. s.); capa de mezcla, duración de las trayectorias de 16 días para conocer el desplazamiento de las parcelas de aire con origen sinóptico y tiempo de integración de 24 horas con intervalos de 6 horas.

Por otro lado, la técnica estadística de clúster permite simplificar y agrupar la información calculada, basándose en las variaciones de la varianza total entre los

miembros que integran el ensamble del clúster Total Spatial Variance (TSV), como la varianza entre cada uno de los elementos que los componen Spatial Variance (SPVAR). El procedimiento consiste en agrupar pares de trayectorias que provoquen un mínimo incremento de los índices (TSV y SPVAR). El proceso finaliza cuando se forma un único clúster en el que se engloban las trayectorias iniciales y se selecciona el número óptimo de clúster, para representar finalmente las frecuencias de cada trayectoria (Hernández Ceballos, 2012), en el que se establecieron de 5 a 7 grupos de clúster.

Una vez definidos estos parámetros, se fijó la posición espacial (sembrar) de las parcelas de aire, en cada uno de los sitios de interés: grandes centros urbanos (ZU; Tunja y Sogamoso) e industriales (ZI; Ciudadela Industrial y Termopaipa) y a lo largo del corredor industrial del Valle, en una zona de extracción de material de construcción (ZI; Mina San Antonio) y en zonas de actividad agrícola (ZA; Iza), para así conocer los diferentes patrones de circulación de las parcelas de aire en el Valle de Sogamoso. Es importante resaltar, que en el desarrollo de la discusión “Análisis de trayectorias y comportamiento de la contaminación atmosférica” se seleccionaron las figuras de las trayectorias de parcelas de aire más representativas según los resultados arrojados en los meses de febrero y abril por el modelo HYSPLIT.

## **Conformación metodológica de las cuencas atmosféricas**

La metodología propuesta por Iniestra *et al.* (2008a), propone que, para conformar una cuenca atmosférica, se debe calcular la dirección preferencial de las parcelas de aire y las interacciones de la circulación del viento con la superficie, tomando en cuenta criterios meteorológicos y topográficos, así como fuentes de emisión y salud de la población (Davydova, 2004).

Con el uso de las trayectorias hacia adelante cercanas a la superficie de los sitios de interés, en las regiones o centros de emisión de contaminación atmosférica, se debe seleccionar trayectorias por debajo de los 1,000 m de altura (aproximación a la capa límite), en este sentido se establecen círculos concéntricos o polígonos alrededor de las locaciones para facilitar la definición de la estructura preliminar de la cuenca (Iniestra *et al.*, 2008a). Para esto, es necesario identificar la densidad en la cual se concentran las parcelas y se excluyen aquellas trayectorias que no se encuentran dentro del valor umbral (porcentaje) establecido como  $m$ , el número de parcelas que terminan en una región y  $n$  el total de parcelas soltadas ( $m/n$ ) (Magaña y Caetano, 2007).

La estructura de la cuenca depende de la condición inicial que sirven como datos de entrada para el modelo HYSPLIT en la simulación de las trayectorias y, por lo tanto, el procedimiento de agrupamiento de formas por medio de la técnica clúster (Iniestra *et al.*, 2008a).

## Reconocimiento de los criterios

Este estudio para reconocer los criterios de planificación procedió a analizar los posibles escenarios que podrían permitir la mejora de la calidad del aire, la integración de componentes socio-ecológicos para el ordenamiento del territorio y la conformación de una unidad de gestión regional a partir de implementar la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso.

## Resultados

### *Revisión climatológica de Colombia durante el año 2015*

Para comprender las condiciones meteorológicas en Colombia, se procesaron los datos de las variables magnitud y dirección del viento, precipitación, temperatura y humedad relativa, las cuales permitieron determinar la influencia de los diversos fenómenos meteorológicos que ocurrieron en la región durante el año 2015. Mediante mapas climatológicos, una vez analizada la información del año de estudio, se determinaron los periodos cálidos-secos y fríos-húmedos que se presentaron en el país. De acuerdo con la propuesta metodológica desarrollada anteriormente, fue necesario conocer los patrones atmosféricos que sucedieron en el territorio, ya que estos procesos condicionaron el comportamiento de los contaminantes atmosféricos emitidos en la zona de estudio como se desarrolla posteriormente.

El comportamiento registrado de magnitud y dirección del viento estuvo condicionado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) e influenciado por fenómenos de variabilidad climática. Para el desarrollo de este artículo, se describirá la región Andina, a la cual pertenece la zona de este caso de estudio. La región Andina, está ubicada en el territorio de las calmas ecuatoriales, pero es alcanzada por los vientos alisios del Noreste y Sureste (Guhl, 1954), respecto al 2015 en el mapa climatológico relacionado en el anexo (Figura A.1) permitió corroborar la información otorgada por el IDEAM acerca de los valores de magnitud de viento en la zona de estudio, los cuales se presentaron vientos fuertes con velocidades entre 4-5 m/s en los valles interandinos y de 7-8 m/s como brisas moderadas en zonas de páramo y nevados ubicados en la Cordillera Central (IDEAM, 2016b).

En cuanto a la precipitación, la región Andina posee un régimen bimodal con una gran diversidad pluviométrica (Ruiz y Zea, 2005), con lluvias mensuales relativamente escasas a lo largo de la cordillera Oriental de aproximadamente 100 mm, donde los valores mínimos ocurrieron en los meses de enero y diciembre con precipitaciones de 100-200 mm, mientras que los valores máximos se encontraron en los meses de abril (Figura A.2a). La precipitación durante el año 2015 estuvo influenciada por la ocurrencia del evento ENOS en su fase cálida, la afectación sobre la climatología fue evidente

(Cadena *et al.*, 2015), pues la marcada alteración en los patrones de lluvia se tradujo en el incremento de las lluvias en gran parte del territorio colombiano y fenómenos de sequía en la región Andina (Figura A.2b) durante el mes de febrero.

En relación a la temperatura superficial, la región Andina se caracteriza por presentar pisos térmicos en los que la temperatura varía entre valores inferiores a los 8 °C hasta los 26 °C consistentemente con la altura (Pabón, Eslava y Gómez, 2001), por lo que se distinguen núcleos o franjas con valores relativamente altos o mínimos (Figura A.3), donde la cordillera de los Andes y valles alrededor de ésta estructura presentan estimaciones mínimas de un régimen bimodal en toda su extensión, de acuerdo con esto las épocas cálidas suceden en los primeros meses del año (enero a marzo; Figura A.3a), los meses de transición con valores significativos de una temporada a otra son el mes de abril para la temporada fría y el mes de septiembre para la cálida (Arango, Dorado, Guzmán y Ruiz, 2012).

Sobre la humedad relativa, el comportamiento promedio de la región Andina en la mayor parte del territorio es bimodal con valores entre 75-90% a lo largo del año (Ruiz y Zea, 2005). El año 2015 presentó picos máximos en abril (Figura A.4b), mayo y noviembre y mínimos en febrero (Figura A.4b) y marzo, en la época seca se observan varias anomalías desde el mes de marzo con valores de 60% a diferencia del 70% de humedad relativa propia de la región, en tanto que la época húmeda se registraron valores aproximados al 90% hacia el sur del territorio andino.

### *Revisión climatológica en el Valle de Sogamoso durante el año 2015*

En general el Valle de Sogamoso se rige por las características climatológicas que se presentan en la región Andina donde se encuentra este valle interandino, sin embargo, al ubicarse dentro de una zona montañosa desarrolla ciertas modificaciones climáticas debido a factores de meso y microescala (Arango, 2014).

Respecto a la magnitud y dirección del viento, se obtuvieron las rosas de viento (Figura A.5) donde la dirección procedente es del Sureste y Sur del Valle, por tanto, se presentan vientos de fuertes intensidades con magnitudes de 7 m/s.

La precipitación durante el año 2015 presentó (Figura A.6) una disminución importante del régimen de lluvias siendo menor a los 90 mm mensuales, en donde se evidencia la marcada influencia de El Niño en la región y a procesos atmosféricos llevados a cabo en la media y alta atmósfera que contribuyeron a las modificaciones en los patrones de lluvia de la zona.

En cuanto al comportamiento de la temperatura superficial al ser un valle interandino y zona montañosa, las condiciones como el relieve permiten ubicar al Valle de Sogamoso en pisos térmicos templados, fríos y muy fríos (Corporación Autónoma Regional de Boyaca, 2015) registrando durante el año 2015 valores comprendidos entre los 11 a 17°C (Figura A.6). La humedad relativa durante el año 2015 (Figura A.7) se caracterizó por ser un periodo seco que afectó considerablemente al Valle de Sogamoso.

## **Comportamiento de los contaminantes atmosféricos en el Valle de Sogamoso**

Mediante la revisión meteorológica, climática y el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en el Valle de Sogamoso durante el año 2015 se establecieron los escenarios a trabajar con el modelo HYSPLIT, donde las condiciones atmosféricas favorecieron o limitaron la dispersión de contaminantes. De acuerdo con esto, se obtuvo como resultado que el mes de febrero presentó mayor concentración de contaminación por  $PM_{10}$ , correspondiente a un periodo seco, siendo éste el escenario 1 y en cuanto al escenario 2, se tuvo en cuenta la disminución significativa de la concentración de  $PM_{10}$ , presentándose en un periodo húmedo ocurrido durante el mes de abril (Figura 2).

Es importante resaltar la fuerte relación del aumento y disminución de la concentración de contaminantes con las variables meteorológicas y topográficas del Valle que ameritan investigaciones para comprender su complejidad no es estudiada aún. En el mes de febrero se presentaron valores máximos en todas las estaciones disponibles, relacionado con la magnitud de vientos débiles y disminución de la humedad relativa. Caso contrario para los meses de abril y agosto, cuya disminución de  $PM_{10}$  podría generarse por intensas precipitaciones de la época húmeda-lluviosa durante el año 2015.

### *Análisis de trayectorias y comportamiento de la contaminación atmosférica*

En el análisis de trayectorias de parcelas de aire, se obtuvo un total de 1,797 trayectorias diarias representativas de los primeros 16 días de cada mes (febrero y abril), contemplando tres niveles de altura 750-1,500 m s. n. s., en relación al comportamiento de las parcelas cercanas a la superficie y 2,500 m s. n. s. para conocer el comportamiento de las parcelas sobre la capa límite del Valle de Sogamoso, cada trayectoria se calculó con el respectivo porcentaje de ocurrencia en las locaciones seleccionadas en la metodología, permitiendo determinar cuántas trayectorias pasan sobre una región y definir los límites preliminares de la cuenca atmosférica.

### *Trayectorias para el mes de febrero*

Para el mes de febrero se obtuvieron 886 trayectorias diarias, cuya distribución en zonas urbanas indica que los vientos predominantes se dirigen con una mayor frecuencia en dirección noroeste y oeste (Figura 3), presentando un porcentaje de 23-34% respectivamente a las parcelas sembradas en Tunja y Sogamoso (ZU) correspondiente a la altura de 750 m s. n. s., mientras que los emplazamientos en Termopaipa (ZI) e Iza (ZA) presentan trayectorias que oscilan entre 34-35% con dirección predominante hacia el oeste del Valle. En cuanto a la altura de 1,500 m s. n. s., la dirección que

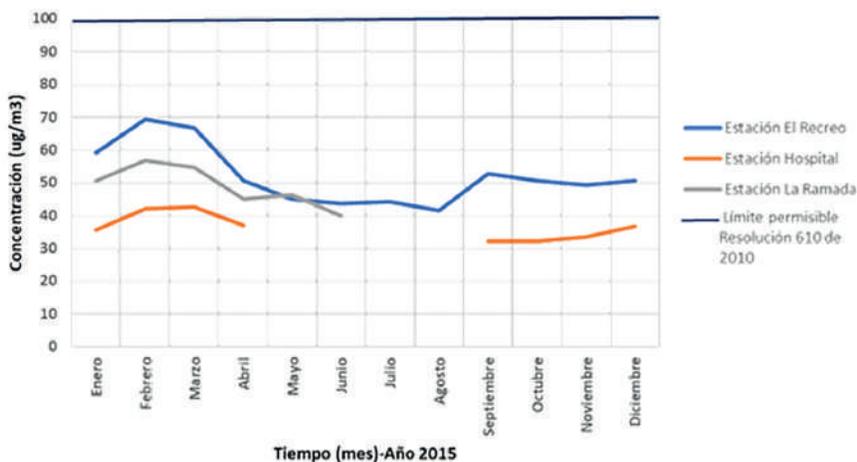


Figura 2. Promedio mensual de PM<sub>10</sub> en estaciones de calidad del aire en el municipio de Sogamoso, Valle de Sogamoso, Boyacá, durante el año 2015. Fuente: Datos adaptados de estaciones de calidad del aire SISAIRE.

prevalece es hacia el Noroeste, con frecuencias entre 25-29% y para la altura 2,500 m s. n. s. se encuentra entre 30-39%.

En la Figura 3 se observa que las parcelas de aire ascienden en todos los niveles de altura, cuyo comportamiento se relaciona con la inestabilidad atmosférica del mes de febrero (IDEAM, 2012), siendo esta inestable en el día y ligeramente estable en la noche, por lo que en una atmósfera poco estable las parcelas tenderán a elevarse y con ello a salir del nivel de mil metros, con lo cual la densidad de las parcelas de aire disminuirá en esa dirección (Iniestra *et al.*, 2008a), esto indica que la estabilidad atmosférica es un factor que determina el comportamiento de las parcelas de aire y consecuentemente el patrón de la cuenca atmosférica. Del análisis de resultados obtenidos, se determinó que las parcelas llegan a alcanzar un radio de 400 km en las primeras 18 horas, pasando por territorios de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, norte de Cundinamarca y sur de Santander y en algunas trayectorias, se observa la recirculación o retorno de éstas al Valle.

Así mismo se encuentra un patrón, pues en los niveles más próximos a la superficie (750-1,500 m s. n. s.) (Figura 3a), las parcelas de aire tienden a quedar atrapadas dentro del radio de los primeros 100 km correspondientes al Valle de Sogamoso determinado por el efecto de la topografía de valle-montaña, pues una vez analizado el perfil de elevación del valle, se encuentra que la altura del terreno está conformado por la zona con mayor elevación de la cordillera de los Andes, denominada macizo de Iguaque, siendo ésta superior a los 2,000 m s. n. m., dando como resultado una influencia en la velocidad de las parcelas y re-direccionando el rumbo de éstas hacia el suroeste. En cuanto al nivel de 2,500 m s. n. s., es evidente la baja incidencia del factor topográfico

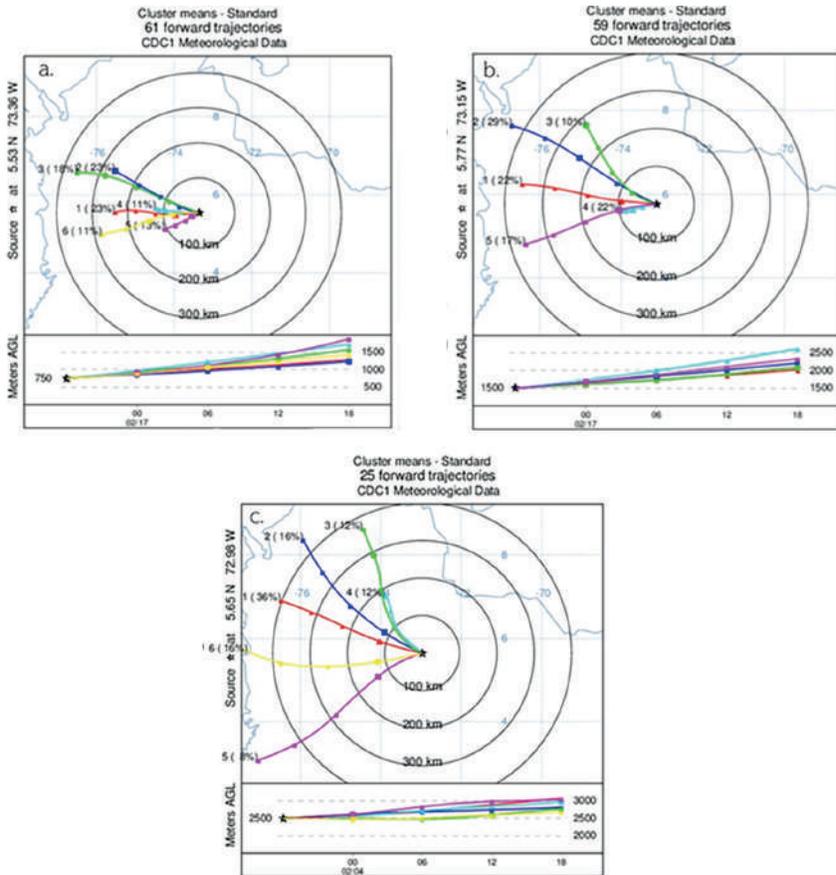


Figura 3. Representación de las trayectorias de parcelas de aire en diferentes niveles para las zonas urbanas, industriales y agrícolas. a) Tunja 750 m s. n. s. (ZI). b) Termopaipa 1,500 m s. n. s. (ZA). c) Iza 2,500 m s. n. s. (ZU). Fuente: Imagen formato arrojado por HYSPLIT.

sobre el desplazamiento de las parcelas de aire, por lo cual son más rápidas en relación con los demás niveles y por esto viajan largas distancias.

De acuerdo con la dinámica de la contaminación atmosférica se podría atribuir el aumento de la concentración de contaminantes durante el mes de febrero al fenómeno de la recirculación de las parcelas de aire, especialmente en los niveles más próximos a la superficie (750-1,500 m s. n. s.) (Figura 3a y 3b). En el nivel de 2,500 m s. n. s. (Figura 3c) se dificulta determinar el comportamiento de los contaminantes a causa de la baja incidencia de la topografía y altas velocidades de las parcelas de aire, por lo tanto, es erróneo atribuir un tipo de fuente específico y un valor de concentración acertado al contaminante en estas alturas (Díaz *et al.*, 2009).

### *Trayectorias para el mes de abril*

Para el mes de abril se obtuvieron 911 trayectorias diarias, cuya distribución en zonas urbanas (ZU) e industriales (ZI) predominaron las trayectorias en dirección Oeste con una frecuencia entre el 20-32%, en zonas agrícolas la dirección suroeste se presenta con una frecuencia del 26% en las trayectorias realizadas para el nivel de 750 m s. n. s., en este caso se observa que frente a lo sucedido en febrero las frecuencias disminuyeron para todos los emplazamientos con excepción de Tunja y aparece una nueva dirección frecuente en la zona agrícola (ZA). En tanto que los niveles de 1,500 m con frecuencias entre 25-38% y 2,500 m con 27-47% mantienen dirección noroeste y oeste (Figura 4) con frecuencias superiores a las estimadas del mes descrito anteriormente.

Durante el mes de abril, las trayectorias continúan el comportamiento ascendente como se observa en la Figura 4a, sin embargo, según la información recolectada para esta investigación, la estabilidad durante el mes es ligeramente estable en el día y neutra en la noche, lo cual implica que las parcelas se transporten cercanas a la superficie, y aunado al lavado atmosférico en correspondencia con la época húmeda-lluviosa, provoca la disminución de concentración de contaminantes atmosféricos en el Valle de Sogamoso (Núñez Crespi, 2002), siendo una posible explicación que las parcelas no queden contenidas dentro del Valle en contraste a lo ocurrido durante el mes de febrero. En este caso, las trayectorias en todos los niveles demuestran ser más rápidas con un desplazamiento mayor a 400 km de radio (Figura 4a, 4b y 4c), alcanzando territorios de los departamentos de Antioquía, sur de Bolívar, Boyacá, Caldas, Chocó, Cundinamarca, Santander y Risaralda.

### **Conformación de cuencas atmosféricas**

De acuerdo con las frecuencias predominantes de las parcelas de aire con origen en el Valle de Sogamoso obtenidas por el modelo HYSPLIT, de todos los emplazamientos obtenidos se seleccionaron aquellas que alcanzaron una altura menor a los 1500 m, ya que se encuentran próximas a la capa límite siguiendo los lineamientos descritos en la propuesta metodológica, consecuentemente para establecer preliminarmente los límites de la cuenca atmosférica, se determinó un umbral mayor al 15%, obtenido de la cantidad de trayectorias frecuentes que finalizan en una región sobre el total de parcelas soltadas en los meses de febrero y abril del año 2015, lo cual permitió construir un patrón de cuenca atmosférica (Figura 5).

A partir del patrón de cuenca atmosférica, se realizó sobreposición de mapas para así determinar que los departamentos de Antioquia, Caldas, Chocó y Risaralda, son territorios en los cuales las trayectorias con mayor frecuencia finalizan su recorrido, sin embargo, se estableció un valor mínimo de trayectorias frecuentes que atraviesan

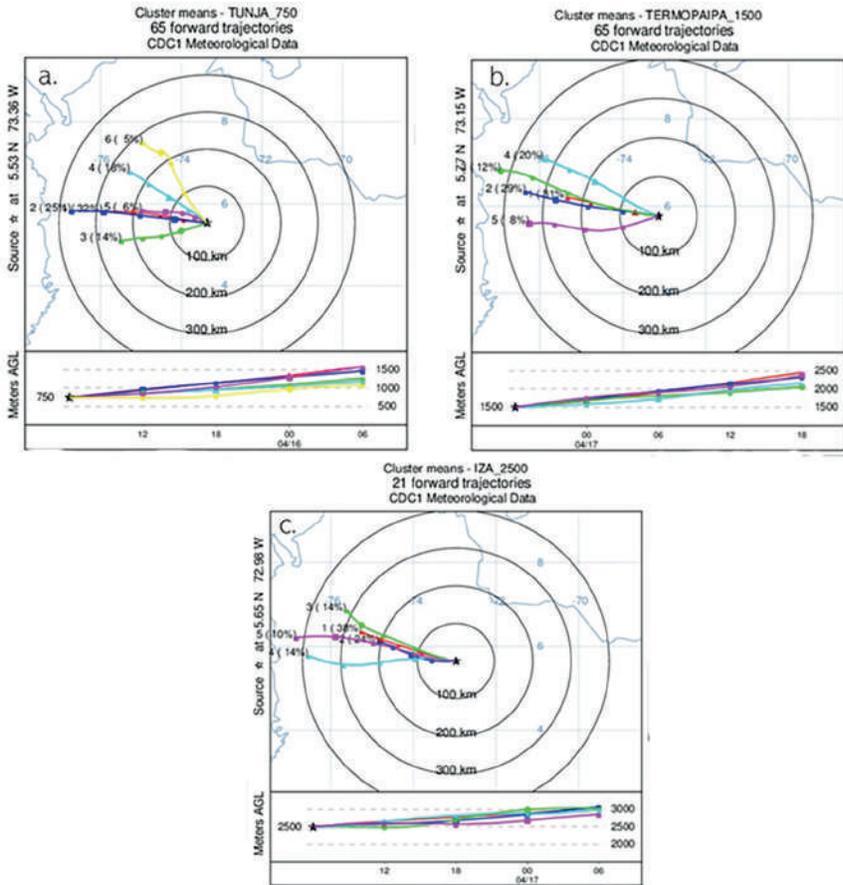


Figura 4. Representación de las trayectorias de parcelas de aire en diferentes niveles para las zonas urbanas, industriales y agrícolas. a) Tunja 750 m s. n. s. (ZI). b) Termopaipa 1,500 m s. n. s. (ZA). c) Iza 2,500 m s. n. s. (ZU). Fuente: Imagen formato arrojado por HYSPLIT.

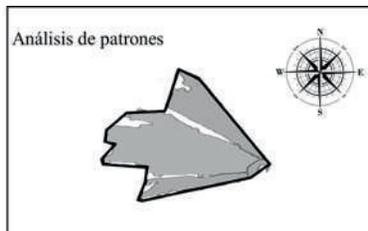


Figura 5. Patrón de cuenca atmosférica, seleccionando la concentración de trayectorias por debajo de los 1,500 m altura media a la capa límite. Fuente: Elaboración de los autores a partir del análisis de clúster.

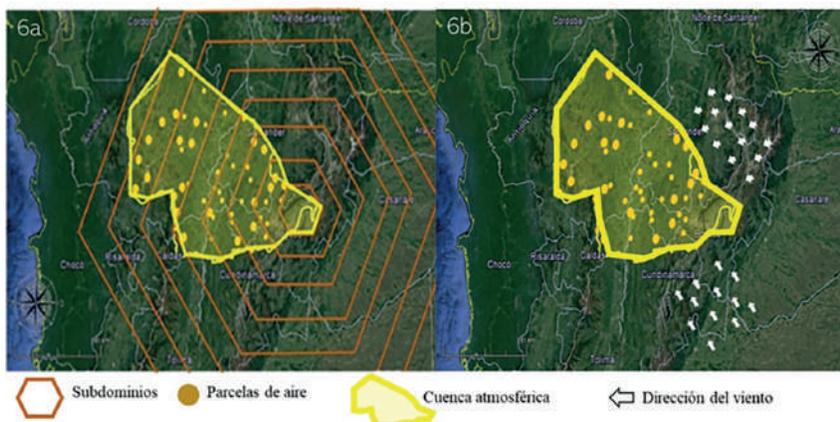


Figura 6. a) Límite probable de la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso y subdominios. Zona del viento predominante en los meses de febrero y abril. b) Influencia de los vientos Alisios en la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso. Fuente: Elaboración de los autores partir de imágenes de *Google Earth*.

por una de las caras del polígono como posible estructura de la cuenca, lo cual permite conocer en qué dirección se ha de ampliar la estructura de ésta.

Para la construcción de los límites probables de la cuenca atmosférica se generaron polígonos y círculos concéntricos cuya longitud del radio determina el alcance de las corrientes de aire, definiendo las áreas de subdominio de la cuenca, considerando aspectos climáticos similares de los territorios que aborda la cuenca y la topografía, se establecieron los límites y área de la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso (Figura 6a).

La cuenca se encuentra conformada preliminarmente por territorios de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca y Santander, con un área aproximada de 49,700 km<sup>2</sup>, considerando los límites de la Cordillera de los Cobardes en Santander, la divisoria de aguas de la Cordillera Occidental en contacto con la región Pacífica, al suroeste con el Cañón del Cauca y al sur con el Valle del Magdalena.

La cuenca tiene menor influencia de los vientos Alisios del Noreste y sureste, siendo predominantes los originados por las brisas valle-montaña las que se desarrollan en la zona (Figura 6.b). A partir de este fenómeno, la contaminación emitida por el Valle posee una conexión ambiental con el Valle de Aburrá en Antioquia, ya que la mayoría de las parcelas de aire se concentran en esta última zona, lo cual podría explicar episodios de contaminación y deterioro de calidad del aire que afecta recientemente a la población de Medellín. De esta forma se evidencia que la contaminación emitida en el Valle de Sogamoso y apoyado de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, podrían transportarse, dispersarse y concentrarse en otras zonas, afectando severamente la calidad ambiental de los lugares que se encuentran en el radio del Valle.

## Discusión

### *Criterios para la planificación y el ordenamiento territorial a partir del enfoque de cuencas atmosféricas*

La evolución de los procesos territoriales ha conllevado a la integración de diferentes enfoques que intentan comprender de manera conjunta las interacciones entre las dimensiones ecológica, económica y social, haciendo uso de diferentes instrumentos de planificación, no obstante, la complejidad de tratar con estas dimensiones ha llevado al desarrollo desigual de éstas, promoviendo el desequilibrio o desarticulación de las relaciones locales, regionales y nacionales (Aguiló, 2012; Rengifo, 2012).

Los criterios a partir de las cuencas atmosféricas buscan establecer una nueva variable ambiental como eje principal para la toma de decisiones, sobre los usos del suelo considerando crecimientos urbanísticos, nuevos asentamientos industriales, infraestructuras para la generación y distribución energética, áreas de producción agropecuaria y otras de carácter regional o local encaminada al uso sostenible del territorio que garantice el bienestar social de la población. Las cuencas atmosféricas basadas en la dinámica atmosférica y en variables ecológicas (tipos de ecosistemas, Estructura Ecológica Principal y áreas protegidas), topográficas y meteorológicas son un nuevo esquema para la gestión regional y como herramienta de planificación territorial. Por lo tanto, proponer la implementación de la cuenca en el Valle de Sogamoso como herramienta que contribuye a la planificación y gestión territorial ambiental aporta los siguientes criterios.

### *Topografía y meteorología*

Los resultados obtenidos en la sección de “Análisis de trayectorias de parcelas de aire” demostraron cómo la topografía define la dinámica atmosférica del Valle, siendo el Macizo de Iguaque, un sistema montañoso de aproximadamente de 3,800 m s. n. m., el que determina el tipo de viento local, junto a las demás variables meteorológicas y a su vez podría estar influyendo sobre el comportamiento de los contaminantes en la época seca y húmeda del año. Considerando éstos resultados, se comprende que la presencia de asentamientos industriales como las siderúrgicas, cementeras, termoeléctricas, industrias artesanales y de extracción minera, no deberían situarse dentro de un valle, debido a las condiciones de estabilidad atmosférica que promueven la concentración de contaminantes atmosféricos dentro de la zona, por lo tanto, la ubicación estratégica para el desarrollo de estas actividades deberían contemplarse en zonas donde las barreras orográficas no sean un impedimento para la dispersión de la contaminación o bien sea teniendo en cuenta patrones regionales de la circulación de la atmósfera.

No obstante, ante el evidente desarrollo industrial presente en el Valle de Sogamoso, el uso de la cuenca atmosférica permitiría establecer las horas críticas en las que existe mayor posibilidad de presentar episodios de contaminación debido al monitoreo constante de la atmósfera, cuyos procesos industriales sean llevados a cabo en concordancia a la distribución temporal, donde las condiciones atmosféricas favorezcan la difusión de los contaminantes emitidos.

Otro aspecto importante dentro de la topografía y meteorología, respecto a la dinámica atmosférica, es la agrupación de parcelas de aire prevalecientes hacia una dirección, lo cual indicaría la probable zonificación de áreas destinadas a procesos urbanísticos e industriales que se contemplan en los planes de ordenamiento territorial. El beneficio de tener en cuenta este flujo de aire, es evitar afectaciones a la población inmediata por los contaminantes emitidos y que se planteen escenarios de futuros proyectos industriales con base en las condiciones meteorológicas a lo largo del año.

### *Cuencas atmosféricas como unidad de gestión*

Las metodologías para la definición de unidades de gestión han implementado nuevos esquemas de intervención territorial, en los cuales involucran la dimensión ambiental como marco central para la asociación territorial. En Colombia, se han desarrollado ejercicios de unidades de gestión basados en cuencas hidrográficas, zonificación ecológica y en la EEP, dando como resultado la construcción de un nuevo modelo que contribuya al manejo sostenible de la región y conservación del ambiente (Villegas Rodríguez, 2014).

La metodología de cuencas atmosféricas permite la definición de una nueva unidad de gestión regional, pues involucra diferentes unidades administrativas que pueden ser influenciadas o afectadas por emisiones de origen urbano, suburbano, agrícola o por fuentes naturales que llegan a transformar la calidad del aire de una región. Por lo tanto, la delimitación de la cuenca parte del uso de trayectorias de parcelas de aire locales que se mueven alrededor del centro de emisión hacia otras regiones en las cuales posee influencia, siendo una asociación transfronteriza de regiones.

La unidad de gestión formulada con las cuencas atmosféricas, implica generar decisiones unitarias en la planificación para la protección de la salud pública, mejora de la calidad del aire, formulación de agendas ambientales consolidadas entre varias unidades administrativas, diseño e implementación de políticas públicas para prevención de riesgos ambientales en materia de calidad del aire basados en la producción de conocimiento de la atmósfera e involucrando la participación de los diferentes sectores, gremios y sociedad civil. Cabe señalar que el concepto de calidad del aire no ha sido asociado con los procesos de planificación territorial, siendo ésta una oportunidad para la integración de un nuevo enfoque en el ordenamiento del territorio.

*Apoyo a los sistemas de monitoreo de calidad del aire*

La dispersión y transporte de los contaminantes se encuentra determinado por el patrón de circulación atmosférica e influenciada por elementos topográficos característicos de la región, las cuencas atmosféricas en países como México, Estados Unidos y Canadá representan un instrumento para el monitoreo de la calidad del aire implicando compromisos transfronterizos entre países (EPA, 2005; Magaña *et al.*, 2007), permitiendo la toma de decisiones de más de una división política.

Implementar la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso, permitiría apoyar los sistemas de monitoreo de calidad del aire, reforzando la ubicación de las estaciones de medición en concordancia con el paso de las trayectorias de las parcelas por el Valle y a la altura promedio que alcanzan las parcelas que transporten los contaminantes. Adicionalmente, la aplicación metodológica de la cuenca atmosférica en esta zona contemplaría todo tipo de fuentes de emisión y contaminantes al mismo tiempo, sin embargo, en este caso se requiere producir información científica que comprenda cómo se comportan los contaminantes de acuerdo con factores meteorológicos, termodinámicos y climáticos de la zona en conjunto con la modelación de la calidad del aire.

Por último, al conocer detalladamente la dinámica atmosférica y delimitar la cuenca de una zona con base a diferentes criterios, se modificarían estandarizaciones sobre la altura de las chimeneas en fuentes de emisión puntuales, ya que al conocerse el comportamiento de las parcelas de aire a diferentes niveles junto al movimiento vertical de éstas, se podría generar un estimado de la altura de la chimenea, favoreciendo así a la dispersión de los contaminantes y mejorando la calidad del aire a largo plazo.

**Conclusiones**

Las variables meteorológicas en el Valle de Sogamoso se encuentran condicionadas por efectos locales como consecuencia de la topografía de valle-montaña que presenta la zona. Los factores meteorológicos, de estabilidad atmosférica y topografía determinan el comportamiento de las parcelas de aire y con ello de los contaminantes emitidos por las diferentes actividades industriales y fuentes móviles que se localizan al interior del Valle, siendo la época seca la que favorece la dispersión de contaminantes atmosféricos y la húmeda evidencia una notable disminución de éstos.

A partir del modelo HYSPLIT, se calcularon las trayectorias de parcelas de aire para los meses de febrero y abril, escogidos de acuerdo a las épocas secas y húmedas del año, relacionados a episodios de contaminación atmosférica, esto reveló que durante el mes de febrero algunas parcelas quedan contenidas al interior del Valle, lo cual explicaría los valores máximos de concentración de  $PM_{10}$  registrados en esta zona, mientras que para el mes de abril, las trayectorias salen del Valle de Sogamoso, donde los

flujos de aire se dirigen en dirección Oeste y Noroeste, hasta los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca y Santander.

Esta investigación presentó una aproximación a la cuenca atmosférica del Valle de Sogamoso, por medio del análisis de trayectorias de parcelas de aire, delimitada principalmente por factores meteorológicos y topográficos de la zona, evidenciando la influencia del paso de las parcelas provenientes del Valle sobre otros territorios a escala regional, generando posibles eventos de contaminación atmosférica e influenciando episodios de contaminación del aire del Valle de Aburrá.

La conformación de la cuenca atmosférica, generó criterios que aportan nuevos conceptos y herramientas en la toma de decisiones para la planificación y gestión ambiental del territorio, los cuales fueron incluir la meteorología y topografía como elemento para el ordenamiento territorial junto al conocimiento detallado de la dinámica atmosférica, implementar las cuencas atmosféricas como unidades de gestión regional para la toma de decisiones unitarias que mejoren la calidad de vida en la región y como apoyo a los sistemas de monitoreo de calidad del aire.

Las cuencas atmosféricas basadas en la dinámica atmosférica y en variables ecológicas, topográficas y meteorológicas son un nuevo esquema para la gestión regional, como herramienta de planificación territorial y para el mejoramiento de la calidad del aire.

Se identificaron futuras líneas de investigación relacionadas al conocimiento detallado de la atmósfera, donde la información para la generación de cuencas atmosféricas considere el flujo de aire anual en condiciones meteorológicas normales y en eventos de variabilidad climática, ya que esta cuenca fue formulada con influencia del fenómeno de El Niño. Así mismo, podrían desarrollarse estudios de trayectorias de parcelas de aire húmedo relacionado al potencial hidrológico de una zona y la afectación de éste con la contaminación atmosférica, adicionalmente conocer las retro-trayectorias de las parcelas y el aporte de contaminación desde otras zonas.

## Bibliografía

- AGUILÓ, Irene. (2012). *Integración de la calidad del aire en la planificación física*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- ARANGO, Cristian; DORADO, Jennifer; GUZMÁN, Diana; y RUIZ, José. (2012). *Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del Siglo XXI respecto al clima presente*. Bogotá: IDEAM, Subdirección de Meteorología.
- ARANGO, Cristian. (2014). *Identificación de patrones de circulación atmosférica en el Valle de Sogamoso y estimación de su impacto en la calidad del aire mediante un modelo meteorológico avanzado y análisis de trayectorias*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- BRAUN, Scott; y KAKAR, Ramesh. (2008). *Tropical Rainfall Measuring Mission* (en línea). <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>

- CADENA, Martha; RODRÍGUEZ, Leidy; y VEGA, Araminta. (2015). *Anuario Climatológico 2015*.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ (CORPOBOYACÁ). (2015). *Atlas Geográfico y Ambiental Corpoboyacá*. Tunja: Corpoboyacá.
- DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HÖLM, E. V.; ISAKSEN, L.; KALLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J. J.; PARK, B. K.; PEUBEY, C.; DE ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J. N.; y VITART, F. (2011). "The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597. doi.org/10.1002/qj.828
- DÍAZ, Luis; ETCHARREN, Pablo; PINAUD, Jean Paul; PACHECO, Boris; CARIMAN, Eddio; y VARELA, Cristian. (2009). *Estudio Determinación de la Zona Saturada por Material Particulado Respirable de Ozono*. Temuco: Universidad Católica de Temuco.
- DRAXLER, Roland; y ROLPH, Glenn. (2003). *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)*.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1982). *APTI Course SI409: Basic Air Pollution Meteorology Student Guidebook*. Washington: EPA.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (2005). *Border Air Quality*. Canadá: Her Majesty the Queen in Right of Canada.
- GUHL, Ernesto. (1954). *Visión socio-geográfica de Colombia (Algunos aspectos)*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología (ICAN).
- HERNÁNDEZ CEBALLOS, Miguel Ángel. (2012). *Caracterización meteorológica y modelización de Andalucía occidental*. Huelva: Universidad de Huelva.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2012). *Estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2012*. Bogotá: Comité de Comunicaciones y Publicaciones IDEAM.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2016a). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015*. Bogotá: IDEAM.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2016b). *Atlas Interactivo Climatológico de Colombia* (en línea). <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JEENE, Roy; y JOSEPH, Dennis. (1996). "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3) 437-471. doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
- MAGAÑA, Víctor; y CAETANO, Ernesto. (2007). *Identificación de Cuencas Atmosféricas en México*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología.

- MÁRQUEZ, Germán; y VALENZUELA, Elizabeth. (2008). “Estructura Ecológica y Ordenamiento Territorial Ambiental: Aproximación Conceptual y Metodológica a partir del Proceso de Ordenación de Cuencas”. *Gestión y Ambiente*, 11(2), 137-148.
- NÚÑEZ CRESPI, Sylvia. (2002). *Altura de la capa de mezcla: Caracterización experimental y aplicación de un modelo meteorológico para el estudio de su evolución diurna*. (Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid). Recuperada de <https://eprints.ucm.es/4622/>
- PABÓN, José; ESLAVA, Jesús; y GÓMEZ, Raúl. (2001). “Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia”. *Meteteorología Colombiana*, (4), 47-59.
- RENGIFO, Julián. (2012). “Evolución de la Planificación Regional en Colombia. ‘Tendencias y Perspectivas del Desarrollo’”. En *XII Coloquio Internacional de Geocrítica*. Universitat de Barcelona.
- RODRÍGUEZ, Adriana del Pilar. (2002). *Perfil del Manejo Ambiental de la Ciudadela Industrial de Duitama-Boyacá*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- RUIZ, José; y ZEA, Jorge. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia. En Aspectos Generales - Parte I*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- STEIN, A. F.; DRAXLER, R. R.; ROLPH, G. D.; STUNDER, B. J. B.; COHEN, M. D.; y NGAN, F. (2015). “NOAA’s HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12) 2059-2078. doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1
- URIBE BARÓN, Leidy Johana; y SUÁREZ ARAQUE, Natalia. (2009). *Evaluación de la calidad del aire del Valle de Sogamoso, respecto a material particulado menor a 10 micras (MP10), aplicando el modelo de dispersión AERMOD como herramienta de planificación*. (Trabajo de grado, Universidad de La Salle). Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/63/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/63/)
- VILLEGAS RODRÍGUEZ, Ernesto. (2014). “Las unidades de planificación y gestión territorial, como directriz para la zonificación urbana”. *El Agora USB. Revista de Ciencias Sociales*, 14(2), 551-581. doi.org/10.21500/16578031.67

## Anexos

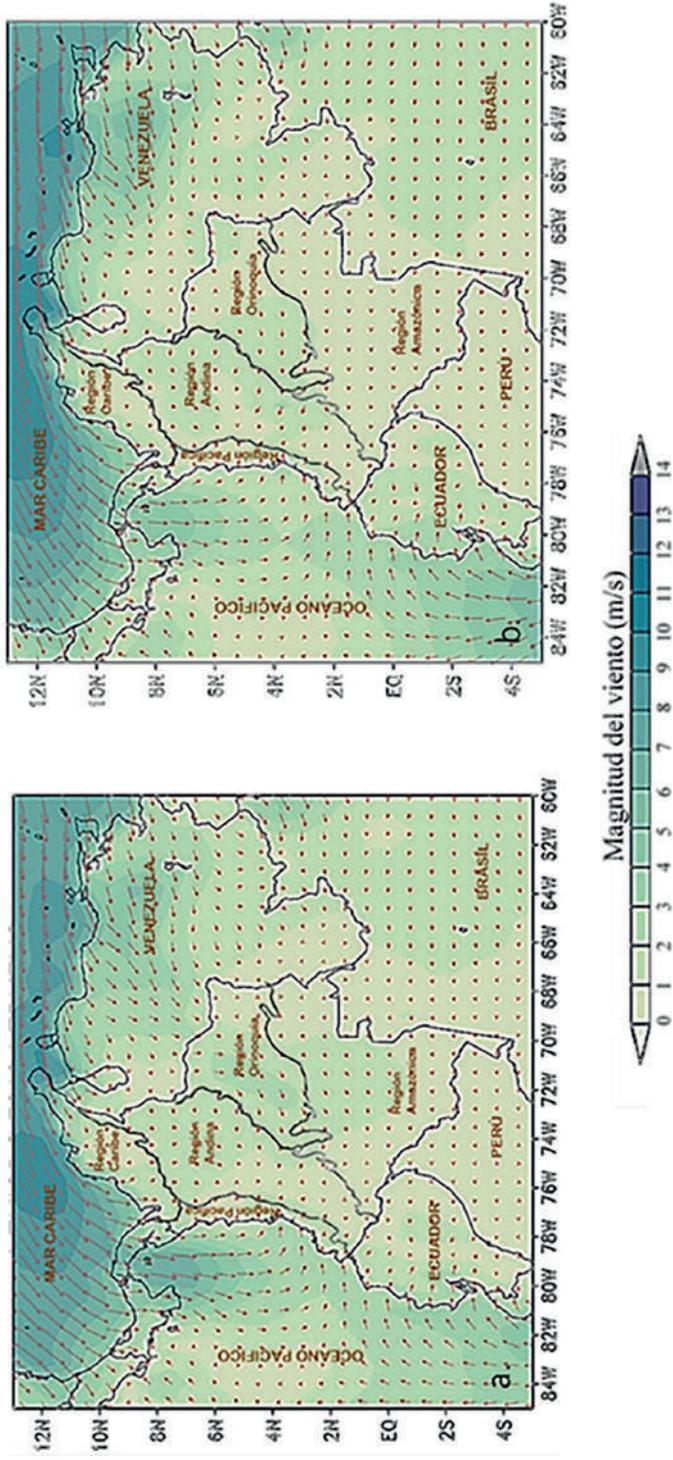


Figura A.1. a) Magnitud y dirección del viento para el mes de febrero periodo 2015. b) Magnitud y dirección del viento para el mes de abril periodo 2015. Fuente: Elaboración de los autores a partir de ficheros de datos de la NOAA

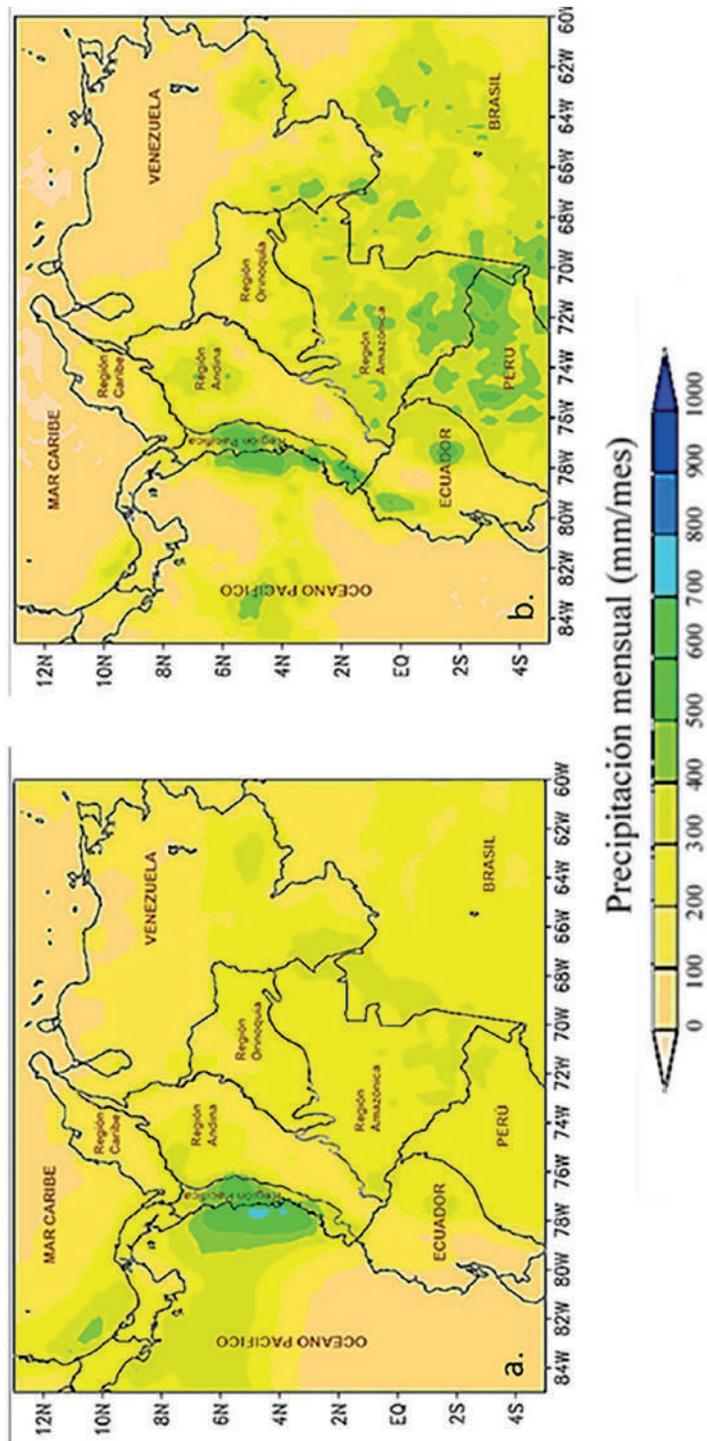


Figura A.2. a) Precipitación en el mes de febrero periodo 2015, b) Precipitación en el mes de abril periodo 2015. Fuente: Elaboración de los autores a partir de ficheros de datos de TRMM.

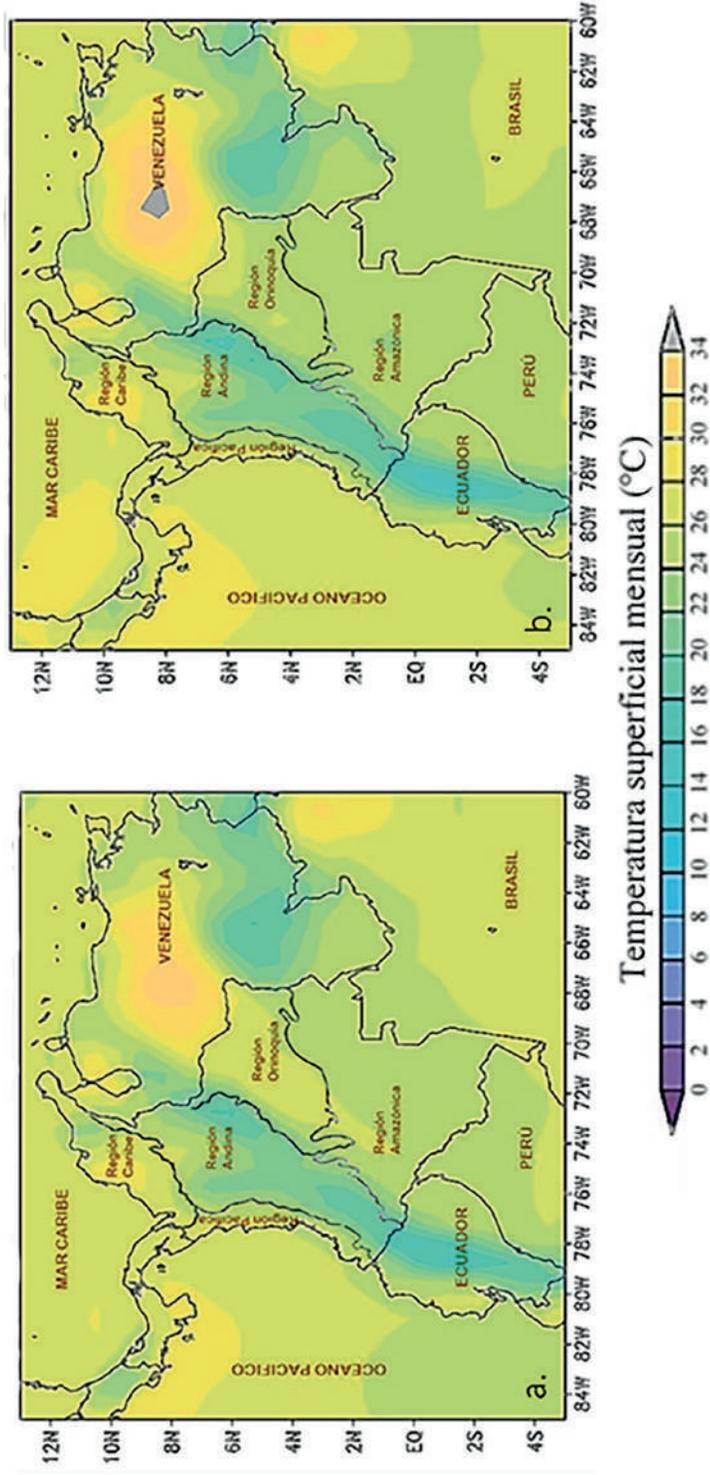


Figura A.3. a) Temperatura superficial en el mes de febrero periodo 2015. b) Temperatura superficial en el mes de abril periodo 2015. Fuente: Elaboración de los autores a partir de ficheros de datos de NOAA.

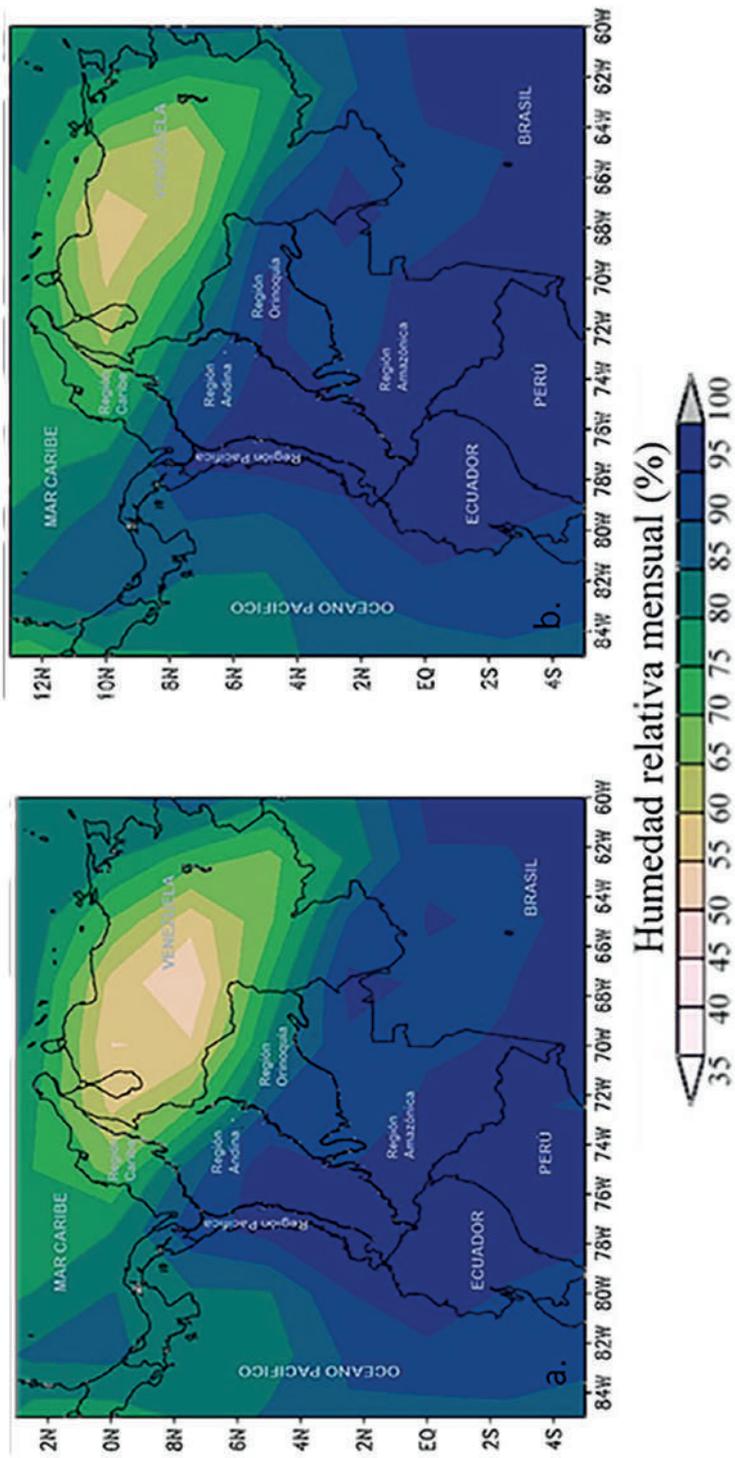


Figura A.4. a) Humedad relativa en el mes de febrero periodo 2015. b) Humedad relativa en el mes de abril periodo 2015.

Fuente: Elaboración de los autores a partir de ficheros de datos de ERA-Interim.

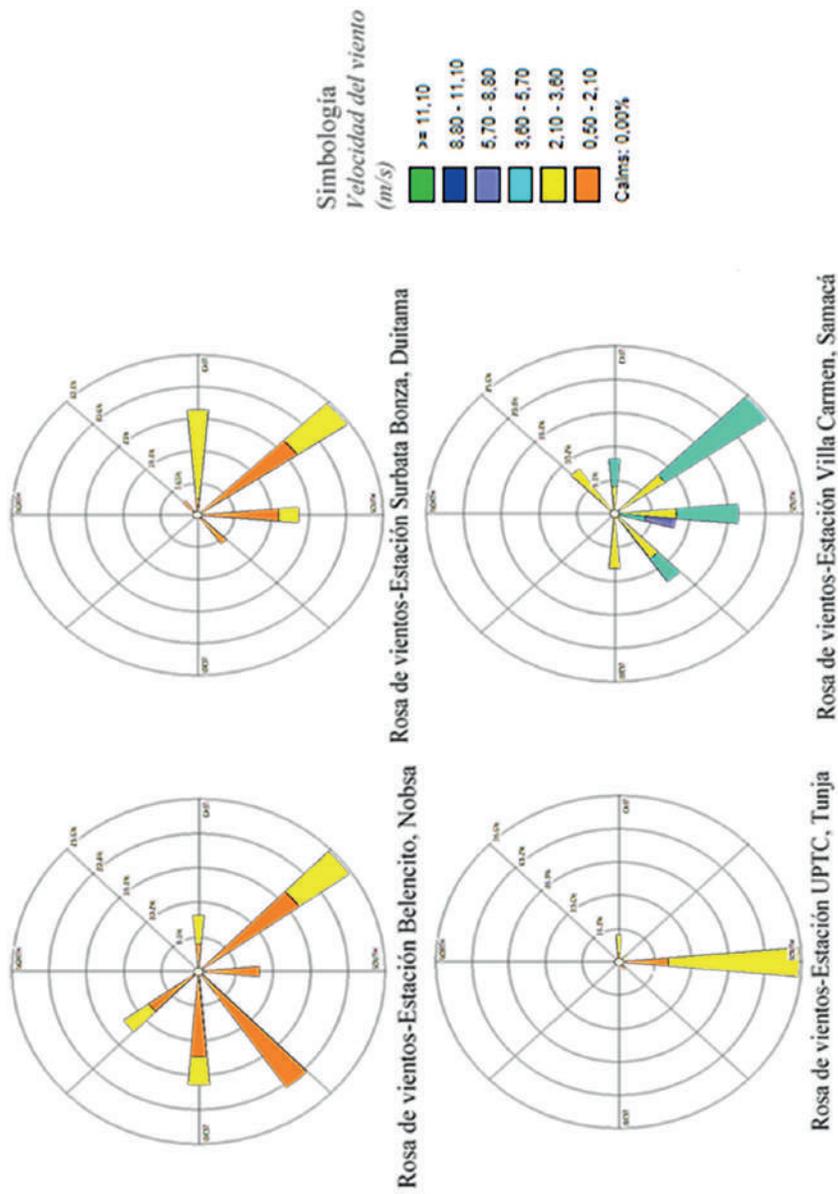


Figura 4.5. Rosas de vientos de los municipios de Nobsa, Duitama, Tunja y Samacá en el Valle de Sogamoso. Fuente: Elaboración de los autores a partir de datos meteorológicos del IDEAM año 2015.

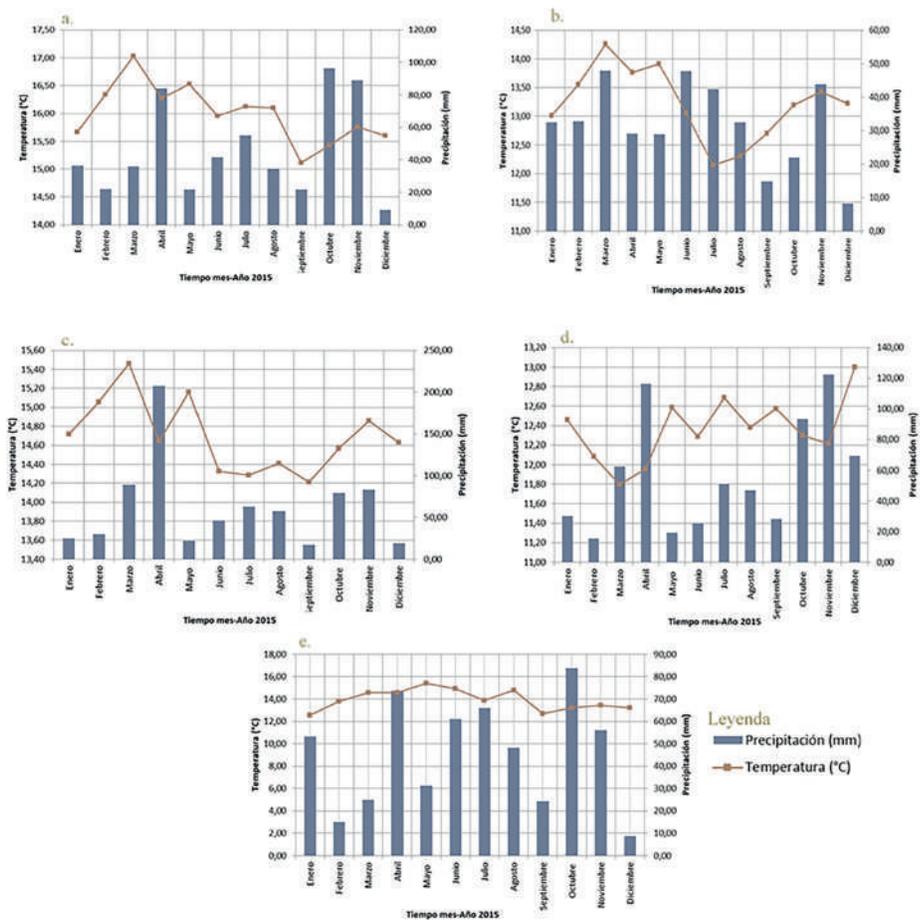


Figura A.6. Climogramas estaciones ubicadas en el Valle de Sogamoso: a) Belencito-Nobsa. b) UPTC-Tunja. c) Tanguavita-Paipa. d) La Rusia-Duitama. e) Apto A. Lleras C-Sogamoso. Fuente: Elaboración de los autores a partir de estaciones meteorológicas del IDEAM año 2015.

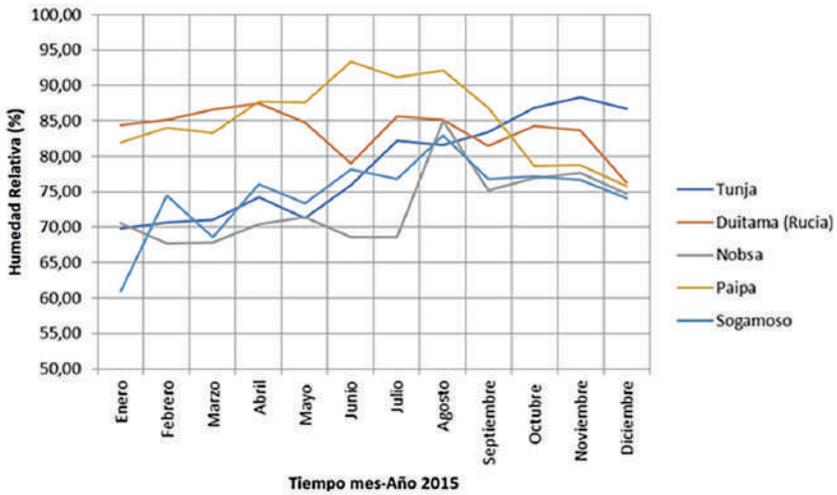


Figura A.7. Promedio de humedad relativa a estaciones ubicadas en las principales ciudades y municipios del Valle de Sogamoso. Fuente: Elaboración de los autores a partir de estaciones meteorológicas del IDEAM año 2015.

# Mortalidad por influenza y neumonía en la Macrorregión del Centro de México: un análisis de sus tendencias y su distribución geográfico-climática

## *Mortality Patterns of Influenza and Pneumonia in the Macroregion of Central Mexico: An Analysis of Its Trends and Its Geographic and Climatic Distribution*

David Maximiliano ZERMEÑO DÍAZ

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Leticia GÓMEZ MENDOZA

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Rodolfo ACUÑA SOTO

Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

### **Resumen**

Este estudio investiga dos aspectos de la mortalidad por influenza y neumonía en la Macrorregión del Centro de México: (i) sus tendencias recientes (1979-2015) y (ii) su distribución geográfico-climática. Para ello, se ocuparon los reportes mensuales de defunciones del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS) a nivel municipal, los datos poblacionales de cuatro censos nacionales y los datos de temperatura ( $T$ ) y humedad ( $ed$ ) media mensual de la base de datos *CRU-TS4.01* de la Universidad de East Anglia, Reino Unido. Los resultados respecto a (i) muestran que, pese al incremento poblacional durante el período de estudio (del 80%), las tasas de mortalidad registraron una tendencia negativa significativa (del 60%). Respecto a (ii), los resultados indican que la mayor mortalidad ocurre principalmente sobre tres regiones frías y secas ( $T < 16^{\circ}\text{C}$  y  $ed < 10$  hPa) sobre el Altiplano Central, sobre las regiones montañosas de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental. Esta relación mortalidad-clima, explica patrones medios, pero no anómalos, por lo que las tendencias registradas de mortalidad no pueden ser directamente relacionadas a tendencias en el clima. Similarmente, esta relación tampoco explica la mortalidad sobre las megaciui-

dades de Ciudad de México, Guadalajara y Puebla; la mortalidad sobre estas ciudades está muy por debajo de la media de la macrorregión. Ambas excepciones sugieren que, una explicación más completa de las causas de los patrones de mortalidad en la macrorregión estudiada, necesariamente tendría que considerar factores no climáticos, como los biológicos, socio-económicos o culturales.

Palabras clave: influenza, neumonía, patrones climáticos, enfermedades respiratorias

## Abstract

This work focuses the macro-region of Central Mexico to investigate two aspects of the mortality by influenza and pneumonia in Central Mexico: (i) its recent trends (1979-2015), and (ii) its geographic and climatic distribution. The study analyzed monthly municipal reports of mortality from the *National Archive of Health Information* (SINAIS), population data from four National Census, monthly temperature ( $T$ ), and humidity ( $ed$ ) data, from the *Climate Research Unit* of the University of East Anglia (*CRU-TS4.01*). With respect to (i), results show that, despite a large population increase (of 80%), mortality rate decreased significantly (60%). With respect to (ii), results indicate that the largest mortality by influenza and pneumonia occurs mainly in two cold and dry regions ( $T < 16$  °C and  $T_{min}$  and  $ed < 10$  hPa): over the Central Mexican Plateau and the region formed by the leeward sides of the Sierra Madre Occidental and the Sierra Madre Oriental. This climate-mortality relation explains average geographic distributions, but not anomalous patterns; mortality trends, therefore, cannot be explain in terms of climate trends. Likewise, such relation cannot explain mortality over the largely populated megacities of Mexico City, Guadalajara y Puebla; the mortality over these cities is significantly lower than that of the domain average. Both exceptions suggest that, a more complete explanation of the causes shaping the spatial patterns of mortality, such explanation would need to include non-climatic factors, such as biologic, socioeconomic or cultural factors.

Keywords: influenza, pneumonia, climate patterns, respiratory diseases

---

## Introducción

La neumonía es una entidad clínica que se caracteriza por la inundación las cavidades alveolares del segmento inferior del sistema respiratorio con un líquido viscoso que contiene numerosas células inflamatorias, detritos celulares y abundantes proteínas (Davis *et al.*, 2012: 364; McCullers, 2006: 572; Morens, Taubenberger y Fauci, 2008: 962). Esto dificulta el proceso de difusión de oxígeno al grado de causar frecuente-

mente la muerte. En México la mortalidad por infecciones del sistema respiratorio inferior ocupa la novena causa de muerte (Institute of Health Metrics and Evaluation, 2020).

Las causas de neumonía son múltiples y se le puede considerar como una respuesta en común a numerosos procesos de enfermedad. La enfermedad puede ocurrir en cualquier edad y en cualquier mes del año, pero presenta una clara predominancia estacional durante otoño-invierno y afecta con más frecuencia y mayor letalidad a los niños menores de 5 años y adultos con más de 65 años. Aunque las neumonías más frecuentes están asociadas a agentes infecciosos (virus, bacterias y hongos), la más común es la causada por bacterias, principalmente *Streptococcus pneumoniae* (Fernandes-Matano *et al.*, 2017: 1; Wong-Chew *et al.*, 2017: 32).

La influenza es una enfermedad de origen infeccioso del aparato respiratorio causada por virus de la familia *Orthomyxoviridae* que a su vez se clasifica en tres grupos: A, B y C. El virus tipo A es el que causa la enfermedad más severa y letal en humanos. Los virus de influenza causan brotes epidémicos anuales durante otoño-invierno con mayor mortalidad en los grupos de edad de menores de 5 años y mayores de 65. Los virus recombinantes nuevos causan eventos pandémicos globales, después de lo cual el virus nuevo toma la estacionalidad anual normal (Petrova y Russel, 2018: 47).

La estrecha relación epidemiológica entre neumonía e influenza es bien conocida (Shrestha *et al.*, 2015: 15314; Cawcutt y Kalil, 2017: 385). Ambas enfermedades son causas principales de mortalidad por enfermedades respiratorias estacionales; otoño-invierno (Kuri-Morales, Galván, Cravioto, Zárraga-Rosas y Tapia-Conyer, 2006: 379), afectan a los mismos grupos de edad (menores de 5 años y mayores de 65 años) y son transmitidas por vía directa (aerosoles) e indirecta por contacto con secreciones respiratorias (Davis *et al.*, 2012; Morens *et al.*, 2008; Rudan, Boschi-Pinto, Biloglav, Mulholland y Campbell, 2008: 408). El aspecto central de esta relación es que en muchos casos influenza y neumonía afectan al mismo individuo, comúnmente primero la influenza y después la neumonía, de hecho, la infección por influenza aumenta la probabilidad de neumonía secundaria 100 veces (Shrestha *et al.*, 2013: 191ra84). Esto se traduce en que aproximadamente el 20% del total de mortalidad por neumonía adquirida en comunidad ocurre cuando el virus de la influenza precede a la neumonía bacteriana (Davis *et al.*, 2012). En la actualidad la Organización Mundial de la Salud trata a la influenza y la neumonía por separado (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018a; OMS, 2018b). Con base en ello, este estudio trata conjuntamente ambas enfermedades, pero se refiere a ellas como dos enfermedades diferentes.

El binomio influenza-neumonía tiene un alto potencial de causar muerte humana; ello ha quedado particularmente manifestado a escalas globales durante diversos periodos de influenza pandémica en el pasado (Chowell y Viboud, 2016: 13557; Morens y Taubenberger 2018a: 2285; Morens y Taubenberger 2018b: 1453; Longini, Halloran, Nizam y Yang, 2004: 623; Johnson y Mueller 2002: 105) y, actualmente en 2020 por

Covid-19 (OMS, 2019). Fuera de eventos pandémicos, la influenza-neumonía en la salud humana a nivel mundial es preocupante ya que ocupa el cuarto lugar entre las causas de muerte en el mundo y es el primer lugar en mortalidad infantil por agentes infecciosos (OMS, 2013). En particular, la neumonía está entre las causas de muerte más importantes; por ejemplo, la Global Burden of Disease (GBD) mencionó que, en el año 2015, la neumonía fue la causa de muerte de aproximadamente 2.74 millones de personas (GBD, 2015: 1133).

Un caso relevante para México ocurrió en 1918 durante la pandemia denominada *influenza española*, que diezmo la población del país y del mundo con un total de 20 millones de muertes (Chowell, Viboud, Simonsen, Miller y Acuna-Soto, 2011: 6; Morens *et al.*, 2008). Es preocupante que la magnitud de la tragedia en México de aquella época permanece todavía sin cuantificar, y es aún más preocupante que no existe información sobre las condiciones en las que ocurrió. Estos eventos resaltan la necesidad de un diagnóstico geográfico detallado de las causas detrás de la mortalidad por influenza-neumonía en México.

En cuanto a causas geográfico-climáticas, diversos estudios han mostrado que las altas ocurrencias de influenza-neumonía están asociadas, en general, a la proliferación de virus y bacterias en condiciones tanto de temperaturas medioambientales como de contenidos de humedad bajos. En una atmósfera seca, las partículas suspendidas en el aire son pequeñas, alcanzan mayores distancias suspendidas en el aire, y penetran la faringe más profundamente (Shaman y Kohn, 2009: 3243; Shaman, Pitzer, Viboud, Grenfell y Lipsitch, 2010: 3243). En estas condiciones, la amenaza viral se hace potencialmente más abundante e incisiva.

Dado que el clima puede actuar como un modulador en la transmisibilidad de los patógenos de influenza y neumonía, se espera que la estacionalidad del clima también module la ocurrencia de ambas enfermedades. De hecho, es conocido que en México y Estados Unidos—incluso en otras regiones (Murdoch, Mitra, Lambert y Erbas, 2014: 30-31)—ambas enfermedades ocurren predominantemente en la temporada más fría (Chang *et al.*, 2016: 486; Cilloniz *et al.*, 2017: 778; Ruiz-Matus, Kuri-Morales y Narro-Robles, 2017: 206). Sin embargo, cabe señalar que otros estudios para regiones cálidas y húmedas han demostrado que la estacionalidad de ambas enfermedades no siempre ocurre en la temporada fría (Alonso *et al.*, 2012: 4-7).

## **Problema y objetivos**

Dada la documentada relación del clima con la ocurrencia de la influenza y la neumonía para distintas regiones del mundo, suponemos que existe una relación similar para México. Sin embargo, esta relación aún no ha sido documentada. La ausencia de tal diagnóstico no es sorprendente si se considera la dificultad de caracterizar fielmente la ocurrencia de influenza y neumonía. Por ejemplo, no es fácil distinguir casos agudos

de bronquitis y bronquiolitis de casos de influenza y neumonía, por lo que, la información disponible puede sobre representar los casos reales, e incluso, para el caso específico de mortalidad por influenza previo al 2006, los casos podrían no tener la confiabilidad ideal (Ruiz-Matus *et al.*, 2017).

Dadas las dificultades observacionales alrededor de la caracterización cuantitativa de la ocurrencia de influenza y neumonía, este estudio se enfocó a investigar solo la mortalidad. Este parámetro es más objetivo comparado con la severidad o frecuencia de afección. En particular, este estudio se planteó el objetivo de diagnosticar la posible relación del clima con la mortalidad por influenza y neumonía en sus aspectos más elementales, utilizando registros asequibles, con la mayor duración posible para disponer de series largas de observaciones. Los aspectos más elementales para diagnosticar respecto a dicha relación fueron tres: sus tendencias, su estacionalidad y sus patrones espaciales. También, nos enfocamos en el diagnóstico de la mortalidad sobre la Macrorregión del Centro de México (95W a 107W, y 18.5N a 23N) debido a que cuenta con suficiente información sanitaria, y con un alto potencial por su elevado número de habitantes y densidad poblacional.

## Área de estudio

Según el censo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010), en la Macrorregión del Centro de México vive poco más del 60% de la población nacional, e incluye regiones donde la densidad poblacional llega a ser hasta 5,960 hab/km<sup>2</sup>. El clima es típicamente continental monzónico, pero alberga una gran variedad de subtipos climáticos (García, 2004: 43) debido a su orografía accidentada. Los elementos fisiográficos importantes de esta región, entre otros, son la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y el Altiplano Central. Mientras que el Altiplano Central es típicamente frío y seco durante el invierno, las vertientes costeras de las sierras son cálidas y húmedas todo el año (Ribot, Magalhães y Panagides, 2005: 55-70).

## Datos

Los datos de mortalidad por influenza y neumonía fueron obtenidos de la página del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS, 2018). Estos datos provienen de los certificados de defunción de las oficinas de Registro Civil de cada municipio y cubren el periodo 1979-2015. Para el periodo 1979-1997, los casos de neumonía corresponden a las claves 480 a 486 de la Clasificación Internacional de Enfermedades 9 (CIE-9); los de influenza corresponden a la clave 487. Para el periodo 1998-2015, bajo la CIE-10, los casos de neumonía corresponden a las claves J12 a J18, y los de

influenza a las claves J10 y J11. Los datos de número de habitantes municipales fueron obtenidos de los censos nacionales<sup>1</sup> de 1970 a 2010 (INEGI, 2010).

Los datos de temperatura ( $T$ ) y presión de vapor de agua<sup>2</sup> ( $ed$ ) media mensual a 2 m de la superficie, fueron tomados de la base *Climate Research Unit* TS4.01 de la Universidad de East Anglia (CRU TS4.01). La resolución espacial de las variables ocupadas es  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ; esta resolución, equivale aproximadamente a cuadros de mailla de  $55.5 \text{ km}^2$  (aprox. 111.12 km de longitud por 111.32 km de latitud). Se ocupó esta base datos, no por su resolución espacial, sino por los procesos de control de calidad y de asimilación de datos que la respaldan. Ambos procesos usan distintas fuentes de información; para México, las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional constituyen una de sus fuentes de información procesadas (e. g., Harris *et al.*, 2014: 623; New, Hulme y Jones, 1999: 831). La resolución temporal la base de datos de CRU es mensual, y aunque cubre el periodo 1901-2016, solo se ocuparon los datos de 1979-2015.

## Metodología

En términos generales, la metodología se dividió en dos partes; en la primera se homogeneizó la resolución espacial y temporal de los datos, y en la segunda se calcularon tasas y promedios estacionales<sup>3</sup>. Los datos de población fueron extrapolados linealmente para cubrir el periodo 2010-2015. Después, el conjunto de datos de población (1979-2015) fue interpolado linealmente a una resolución mensual. Ambos procedimientos fueron aplicados a nivel municipal y en ambos procedimientos se usó el método de mínimos cuadrados. Este método garantizó mantener fielmente el comportamiento claramente lineal observado en toda la macrorregión (Fig. 1c).

Posteriormente, los datos municipales de población y mortalidad fueron agrupados en rejillas espaciales regulares de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  usando el método de *binning*. Después, para cada rejilla, se calcularon las tasas de mortalidad (por cada 100 mil hab.) anuales y estacionales para invierno (diciembre-febrero), primavera (marzo-mayo), verano (junio-agosto) y otoño (septiembre-noviembre). Finalmente, los datos de  $T$  y  $ed$  también fueron promediados anual y estacionalmente.

<sup>1</sup> No se usaron los datos de los conteos rápidos por facilidad y por homogeneidad de procesamiento.

<sup>2</sup> Una descripción completa del uso de  $ed$  como medida de la humedad en meteorología y en climatología puede ser consultado en Stull (2017: 87).

<sup>3</sup> Los programas computacionales *C-shell* ([https://en.wikipedia.org/wiki/C\\_shell](https://en.wikipedia.org/wiki/C_shell)) y *Matlab* (<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>) se utilizaron para cálculos matemáticos y estadísticos, y el programa *Generic Mapping Tools* (<https://www.generic-mapping-tools.org/>) se utilizó para la creación de todas las imágenes. El código fuente detrás de tales procedimientos puede ser distribuido bajo pedidos específicos.

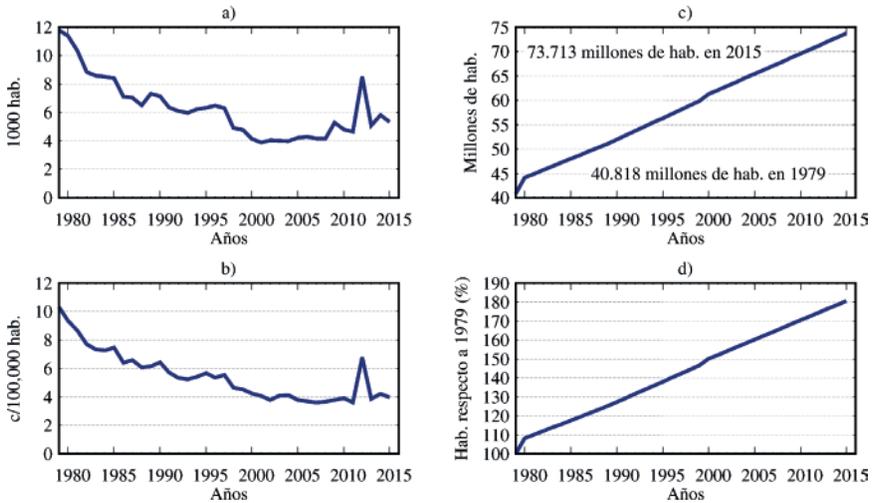


Figura 1. Evolución de la mortalidad por influenza y neumonía de 1979 a 2015 de la Macrorregión del Centro de México en (a) números totales, (b) tasas (cada 100 mil habitantes), (c) en números totales de habitantes y (d) porcentaje de habitantes respecto a los de 1979.

Fuente: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2018).

## Resultados

### *Tendencias de mortalidad*

El periodo de estudio (1979-2015) se caracteriza por presentar una tendencia negativa de mortalidad por influenza y neumonía, y una tendencia positiva en el número de habitantes (Fig. 1). Por un lado, la población inicial en la Macrorregión del Centro de México pasó de 33 millones en 1979 a 73 millones en 2015. Respecto a la población de 1979, tal incremento al 2015 corresponde a 80% (40 millones; Fig. 1d). La mortalidad disminuyó de 12 mil muertes en 1979 a cerca de 4 mil en 2000 (Fig. 1a), es decir que la tasa de mortalidad paso de 10 a 4 muertes por cada 100 mil habitantes (Fig. 1b). Aunque en términos generales existe una tendencia negativa entre 1979 y 2015, las tasas de mortalidad entre 2000 al 2015 fueron prácticamente nulas y ligeramente positivas en números totales.

### *Patrones espaciales de mortalidad*

La distribución espacial de la mortalidad por influenza y neumonía en la Macrorregión del Centro de México está mayormente definida por la ubicación de las ciudades más pobladas, ya que en ellas se localiza por un lado, la mayor mortalidad en números totales,

y por otro, la mortalidad más baja en tasas. La Fig. 2 muestra la distribución espacial de la población en la Macrorregión del Centro de México y de la mortalidad promedio por influenza-neumonía en el periodo 1979-2015. Se puede notar que la mayor parte las defunciones (Fig. 2b) se encuentran en las regiones más pobladas (Fig. 2a): principalmente sobre la Ciudad de México, Guadalajara, y Puebla. La explicación a esto es simple: en cuanto al números totales de casos, a mayor número de habitantes, mayor mortalidad.

Por otro lado, en términos de tasas, la Fig. 2c revela que las tasas de mortalidad por influenza y neumonía tienden a ser más bajas en regiones con más habitantes respecto a regiones con menos habitadas. El caso más evidente es el de la Ciudad de México: allí, la tasa de mortalidad, de aproximadamente 8 personas por cada 100 mil hab., es un mínimo relativo con respecto a las regiones a su alrededor. Otro ejemplo se puede observar en la región de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, también con una tasa de mortalidad de aproximadamente 8 personas de cada 100 mil habitantes (Fig. 2c). Este comportamiento se cuantifica en la Fig. 3, la cual relaciona el número de habitantes con la mortalidad. Después del umbral aproximado de un millón de hab. por cada 770 km<sup>2</sup> (por punto de malla), las tasas de mortalidad no superan 10 personas por cada 100 mil hab.

Se calculó la media de las tasas de mortalidad de todo el dominio con el propósito de ubicar las regiones con mortalidad relativamente alta o baja en la Macrorregión del estudio. El valor promedio de la tasa de mortalidad es de 16 por cada 100 mil hab. Los resultados muestran que las tasas de mortalidad más altas se ubican en Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, el sur de San Luis Potosí y en la región del Estado de México (Fig. 4). Por otro lado, las tasas de mortalidad son relativamente más bajas en la Ciudad de México, Aguascalientes, Colima, Michoacán, Centro y norte de Veracruz y en prácticamente todo el estado de Nayarit. Los estados de Querétaro, Jalisco y Guanajuato no sobresalen respecto a los anteriores estados.

Con los resultados obtenidos puede decirse que, las regiones con relativamente baja mortalidad por influenza y neumonía (número de muertes), en primera instancia se pueden explicar por los patrones demográficos (Figs. 1-4): ya sea porque la población es baja (hay pocos fallecimientos porque hay pocas personas) o porque su densidad poblacional es alta (ciudades de México, Guadalajara y Puebla). Ahora bien, los patrones climáticos pueden analizarse como una posible segunda instancia para entender mejor los patrones de mortalidad (Fig. 4). Esto se explora a continuación.

## **Relación entre los patrones de mortalidad con los patrones climáticos**

La relación principal encontrada respecto a patrones de mortalidad y patrones climáticos es que la mortalidad es más alta en regiones relativamente frías y secas; esto se muestra al comparar los patrones de mortalidad por influenza y neumonía de la Fig. 3c con los valores estacionales promedio de  $T$  y  $ed$  de las Figs. 5a y 5b. Dicha relación es

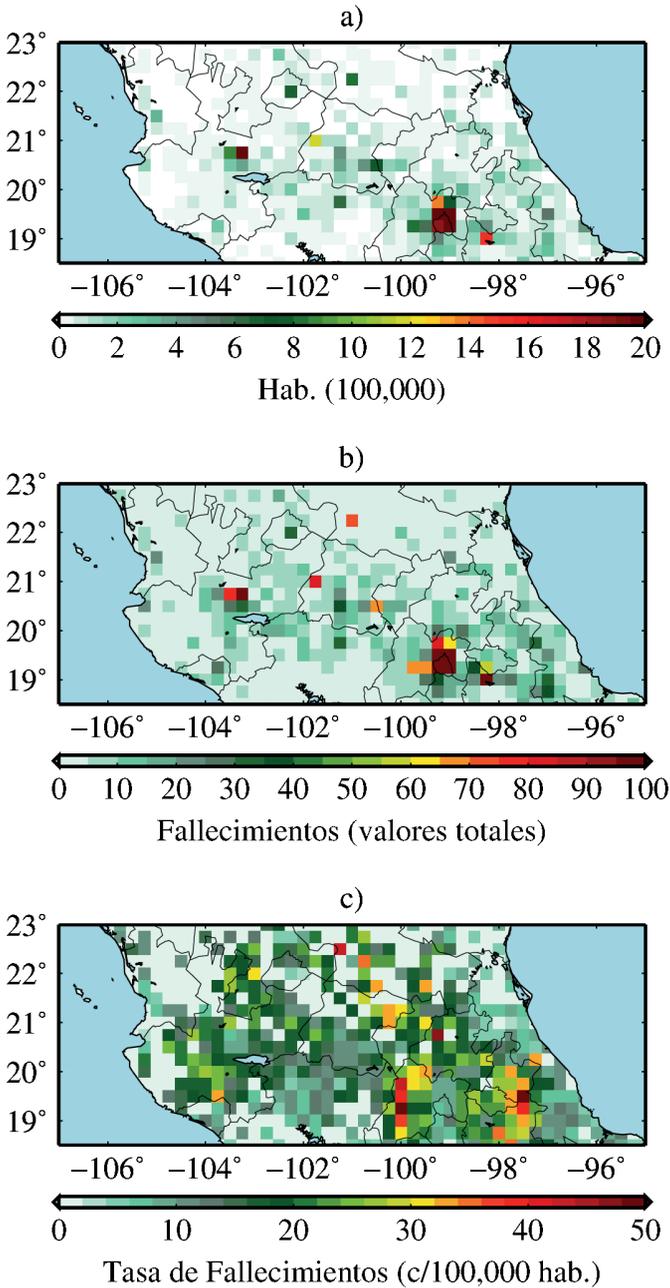


Figura 2. Promedios anuales de mortalidad por influenza y neumonía de 1979 a 2015 para la Macrorregión del Centro de México como (a) número de habitantes, (b) valores totales y (c) valores en tasas. Fuente: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2018).

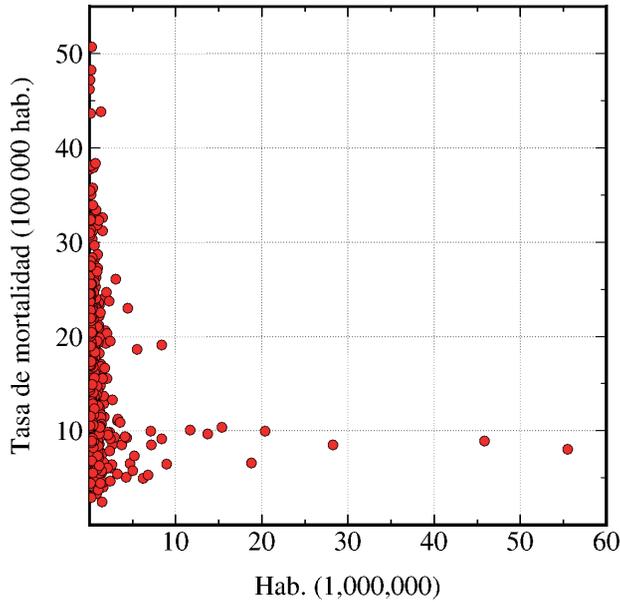


Figura 3. Correspondencia entre mortalidad por influenza y neumonía (en tasas por cada 100 mil hab.), y población (en millones de hab.) para la Macrorregión del Centro de México con datos promediados del periodo 1979-2015. Fuente: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2018) e INEGI (2015).

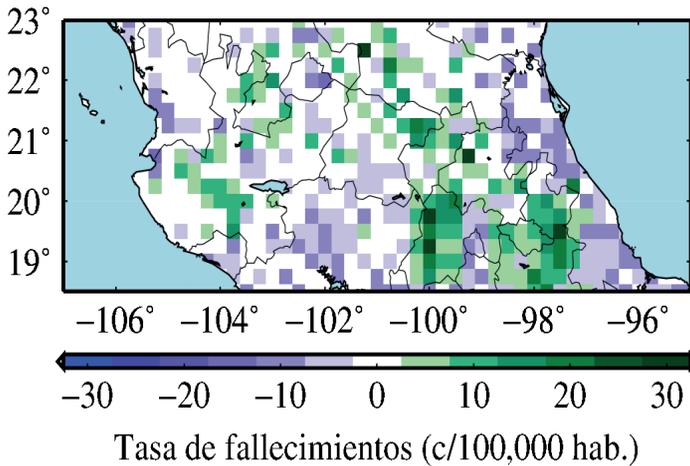


Figura 4. Promedios anuales (1979-2015) de mortalidad en tasas (por cada 100 mil habitantes) por influenza y neumonía mostrada como valores de anomalías respecto a la media de todo el dominio: 16 por cada 100 mil habitantes. Fuente: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2018) e INEGI (2015).

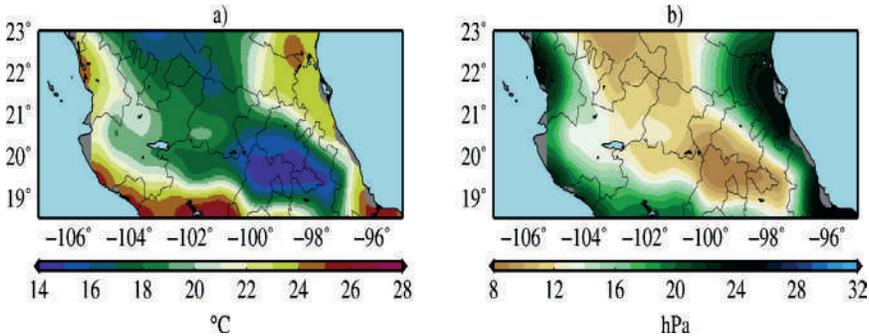


Figura 5. Promedios anuales de (a) temperatura y (b) presión de vapor de agua del periodo 1979-2015. Fuente: Elaborada por los autores a partir de CRU (2019).

simplificada en la Fig. 6, que muestra isóneas de  $T$  y  $ed$  con valores representativos sobre las regiones donde la mortalidad es más pronunciada. En particular, la región del Altiplano Central tiene los valores de  $T$  y  $ed$  más bajos de todo el dominio estudiado y los más altos respecto a las tasas de mortalidad. Esta región incluye el poniente del Estado de México y los estados de Tlaxcala y Puebla. En estos estados,  $T$  y  $ed$  tienen los valores más bajos de toda la macrorregión:  $T$  oscila entre 16 °C y 20 °C (Fig. 6a), y  $T$  y  $ed$  es, en general, menor a 10 hPa (Fig. 6b). Otra región con alta mortalidad, pero con valores de  $T$  y  $ed$  menos fríos y secos (20° C y 16 hPa; Fig. 6) son las zonas de sotavento de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre Oriental (Fig. 6). Esta región se caracteriza por una orografía accidentada, con un gradiente altitudinal pronunciado (las curvas de elevación de 1,000 m y 2,000 m se encuentran cercanas; Fig. 7), y con patrones sinuosos (cf. línea café y en amarillo en Fig. 7).

## Estacionalidad

Las variaciones estacionales de mortalidad por influenza y neumonía muestran dos aspectos importantes: primero, los patrones espaciales de mortalidad son casi constantes en primavera, verano y otoño (Fig. 8) y segundo, durante el invierno se registra un máximo relativo (Fig. 8a). Este resultado es consistente con diferentes estudios previos que muestran los máximos de contagio y mortalidad tanto de influenza como de neumonía en invierno (Cilloniz *et al.*, 2017; Ruiz-Matus *et al.*, 2017; Shaman y Kohn, 2009). Ambos resultados sugieren que, aunque las variaciones estacionales de mortalidad por influenza y neumonía son relativamente pequeñas (con tasas entre 0 y 5 muertes por cada 100 mil hab.), durante la estación más fría y seca de invierno la mortalidad tiende a incrementarse (Ribot *et al.*, 2005). Cabe señalar que durante las cuatro estaciones persiste la mortalidad en el poniente del Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Guanajuato, Querétaro, norte de Colima, sur y norte de Jalisco y sur de San Luis Potosí.

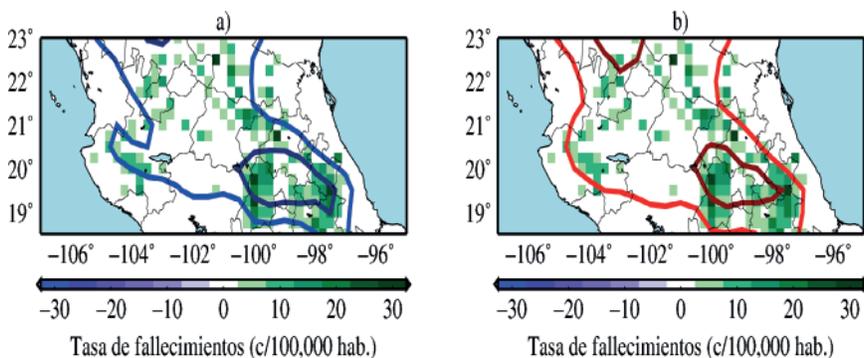


Figura 6. Tasas de mortalidad por influenza y neumonía sobre regiones donde la mortalidad excede el promedio de la macroregión del Centro de México (16 por cada 100 mil hab.) y su relación con (a) las isotermas medias anuales de 20 °C (en azul) 16 °C (en azul oscuro) y con (b) las isobaras de presión de vapor de agua de 16 hPa (en rojo) y 10 hPa (en rojo oscuro).

Fuentes: Elaborada por los autores a partir de CRU (2019) y SINAIS (2018).

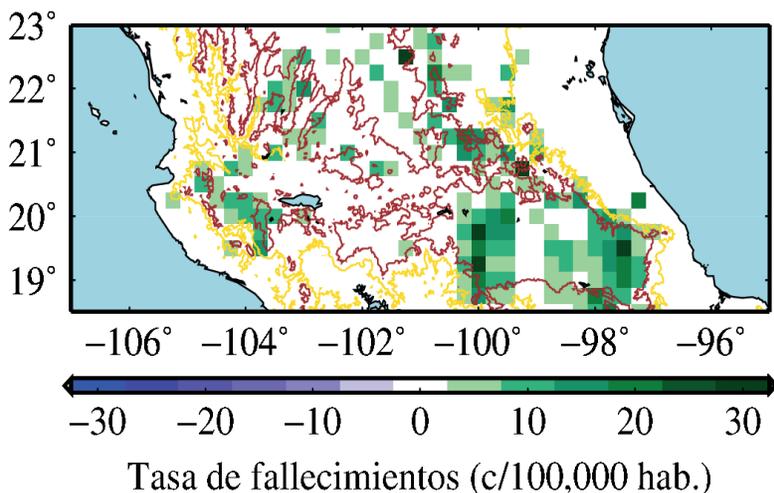


Figura 7. Tasas de mortalidad por influenza y neumonía sobre regiones donde la mortalidad excede el promedio de la Macroregión del Centro de México (16 por cada 100 mil habitantes). Las curvas de nivel de 1,000 m s. n. m. (en amarillo) y 2,000 m s. n. m. (en marrón) también son mostradas. Fuentes: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2019) y Amante y Eakins (2008).

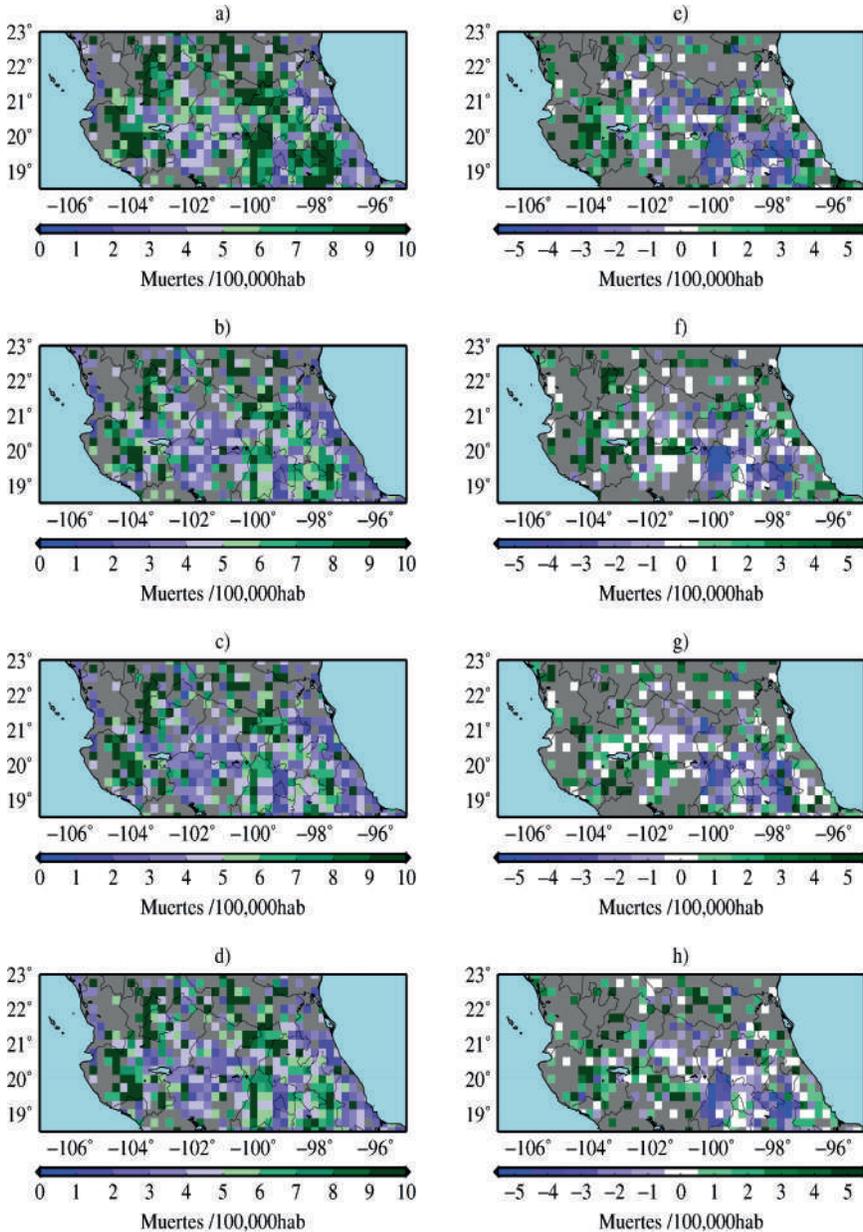


Figura 8. Tasas de mortalidad estacional por influenza y neumonía en (a-d) promedio para el periodo 1979-2015, y como (e-h) anomalías del año 2012; en ambos casos se muestran las estaciones de (a, e) invierno, (b, f) otoño, (c, g) verano y (d, h) primavera. Fuente: Elaborada por los autores a partir de SINAIS (2018).

## Un año con alta mortalidad

Ya que los resultados hasta esta sección han mostrado una relación espacial repetitiva (sobre regiones más frías y secas tiende a haber mayor mortalidad por influenza y neumonía), es razonable suponer que esta relación puede ser extrapolada para entender anomalías anuales. Por ello nos enfocamos en el año 2012, un año con extremadamente alta mortalidad (Figs. 1 a y b). El promedio de muertes anuales para la Macrorregión del Centro de México del 2000 al 2015 fue de 4,777 personas con una tasa de mortalidad de 4 personas por 100 mil habitantes, pero en el 2012 se registraron 8,519 por influenza o neumonía con una tasa de casi 7 personas por cada 100 mil habitantes (Figs. 1 a y b). El patrón espacial de mortalidad por influenza y neumonía en 2012 (Figs. 8 e-h) tuvo una característica diferente al promedio de mortalidad: en el 2012 ocurrió una tendencia contraria con valores relativamente altos cerca de las costas del Océano Pacífico (en los estados de Michoacán y Jalisco) y del Golfo de México (Veracruz), en gran parte de San Luis Potosí y en el sur de Zacatecas (normalmente la región Altiplano presenta valores más altos que sus alrededores; Fig. 7). Este patrón tuvo su máximo durante la estación de invierno, pero su distribución espacial se repitió durante las otras estaciones. ¿La alta mortalidad del 2012 pudo estar relacionada al clima?

Si condiciones anómalamente frías y secas ocurrieron sobre las regiones con más mortalidad durante en el 2012, el clima podría ser considerado como una posible causa de la mortalidad del 2012. Sin embargo, las condiciones climáticas no fueron ni anómalamente frías, ni anómalamente secas sobre las regiones con más mortalidad (Fig. 9). Incluso, este año fue un año promedio en cuanto humedad, pero fue anómalamente cálido. Estos resultados indican que, a grandes rasgos, sin dividir la mortalidad por grupos poblacionales (edad y género), la gran mortalidad del 2012 no puede ser explicada por las bajas temperaturas y bajos contenidos de humedad estacionales. Definitivamente, estos resultados son un ejemplo de la necesidad de más estudios respecto a los detalles espaciales, geográficos, y demográficos para entender patrones clave en la dinámica de la mortalidad por influenza y neumonía básica en México.

Por otro lado, causas biológicas asociadas a la alta mortalidad del 2012 son claras (patógenos), y han sido documentadas por diversos estudios, en particular, el virus tipo AH1N1 (Hajjar y McIntosh, 2010: 2; Reyes Canche-Pech *et al.*, 2017: 2). De hecho, al periodo invierno 2012-invierno 2014 se le ha considerado la cuarta onda causada por el virus A (H1N1) pdm09 de la pandemia de influenza originada en México en el año 2009 (Borja-Aburto, Chowell y Viboud, 2012: 563; Dávila *et al.*, 2014: 7).

## Discusión y conclusiones

En este estudio se mostraron principalmente dos resultados respecto a la mortalidad por influenza y neumonía para la Macrorregión del Centro de México: sus tendencias temporales, y su distribución geográfico-climática. Ambos resultados responden al

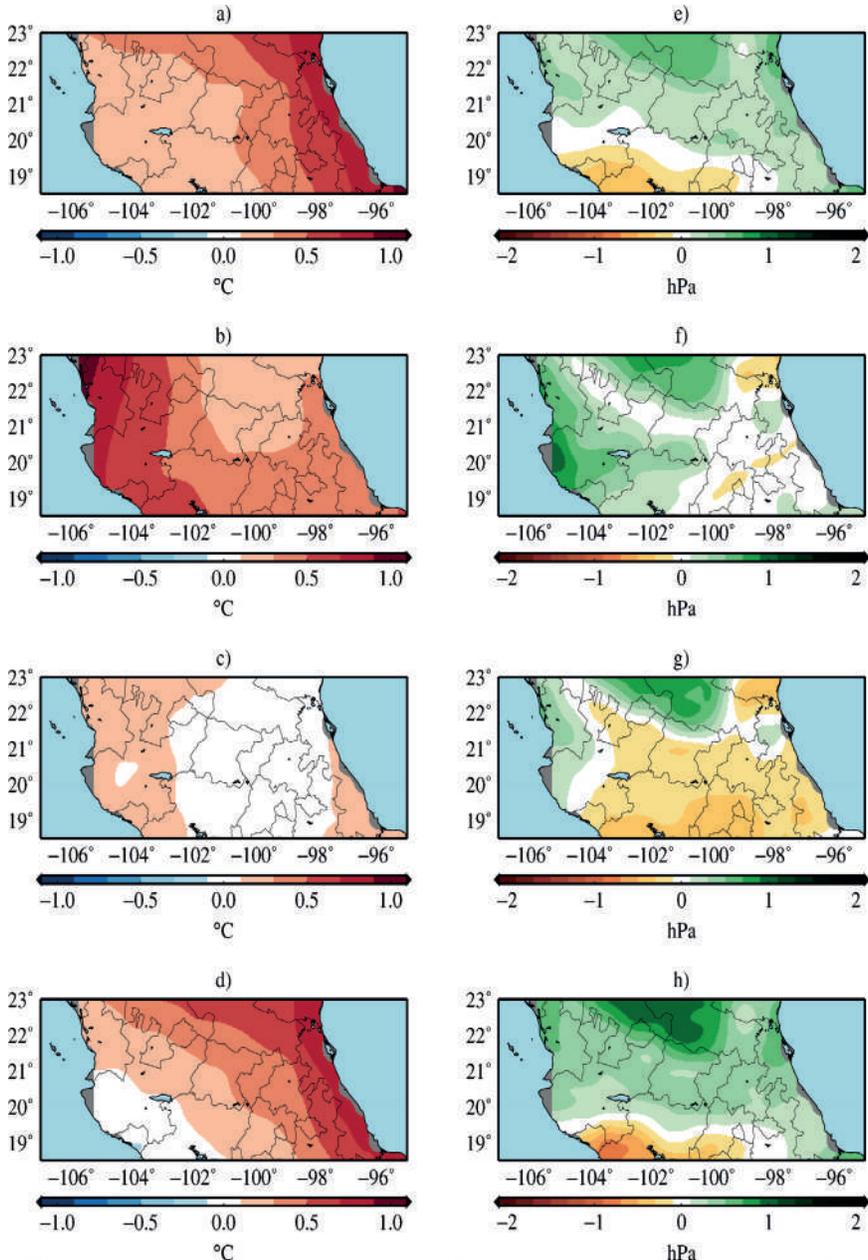


Figura 9: Anomalías de (a-d) temperatura (en °C) y (e-h) presión de vapor de agua (en hPa) del año 2012 durante (a, e) invierno (b, f) otoño (c, g) verano y (d, h) primavera. Fuente:

Elaborada por los autores a partir de CRU (2019).

objetivo primario de este estudio, *diagnosticar la posible relación del clima con la mortalidad por influenza y neumonía en sus aspectos más elementales*. Nuestros resultados mostraron aspectos geográfico-climáticos de la ocurrencia de la influenza y la neumonía que no habían sido documentados anteriormente para México, sin embargo, como se explica en los siguientes párrafos, la necesidad de estudios multidisciplinarios es latente, ya que el problema es complejo y claramente multifactorial.

Respecto a las tendencias, los resultados mostraron que en las últimas décadas la mortalidad ha disminuido. Específicamente, en el año 1979 se registraban cerca de 8 mil muertes, pero cerca del año 2000 se registraban casi la mitad de estas, cerca de 4 mil. Lo sorprendente de este resultado es que, la tendencia negativa no solo se manifiesta en números absolutos de habitantes, también se manifiesta en tasas de mortalidad. Es decir, a pesar de que la población en el Centro de México creció (se incrementó en casi un millón de habitantes por año desde 1979) la mortalidad disminuyó. Estas tendencias son consistentes con datos presentados por otros estudios (Fernández-Cantón y Perdón Villaseñor, 2009; McAllister *et al.*, 2019: 53-57) los cuales han demostrado con diferentes fuentes de información que, en muchas regiones del mundo, la mortalidad por neumonía ha descendido progresivamente en todos los grupos de edad durante las últimas cinco décadas. A pesar de dicha consistencia, las tendencias negativas que documentamos representan *grosso modo* a toda la macrorregión, sin embargo, son necesarios estudios con una resolución espacial más fina.

Nuestro diagnóstico de las tendencias documentadas en este estudio coincide con los diagnósticos de estudios previos que han señalado a la vacunación y a su aceptación entre la población como la causa principal del decremento en la mortalidad por influenza y neumonía. Por otro lado, en contraste con las tendencias negativas de 1979 a 2000, las tendencias del 2000 al 2015 fueron prácticamente nulas en términos de tasas e incluso ligeramente positivas en términos de números totales. Estudios previos han sugerido que, para mejorar las tendencias de mortalidad recientes, es necesario enfocar esfuerzos al acceso de la población a los servicios de salud, en las campañas de vacunación (Kuri-Morales *et al.*, 2006), y en la adopción de hábitos saludables que previenen la transmisión de enfermedades virales (Morawska 2006: 9). En términos generales significa la adopción de estrategias que manejen mejor el riesgo ante enfermedades respiratorias. Tales medidas podrían tener una importancia clave en el proceso de adaptación que tenga la población a los posibles impactos que el cambio climático en la incidencia de enfermedades respiratorias en las próximas décadas.

Sin embargo, cabe señalar algunas fuentes de incertidumbre que pueden ser determinantes de las características de las tendencias observadas. Estas fuentes de incertidumbre están asociadas al análisis cuantitativo de la influenza y neumonía con las fuentes de información existentes (Ruiz-Matus *et al.*, 2017). Por ejemplo, es una posibilidad que cambios en la forma de medición hayan afectado los resultados en las tendencias (e. g., cambios en la definición de un caso sospechoso y uno confirmado, o cambios en la disponibilidad y captura de información). Aunque este punto es claramente especulativo, es importante considerarlo al interpretar los resultados mostrados.

Este punto también ejemplifica la dificultad detrás del problema de la detección y atribución de mortalidad no solo por enfermedades como la influenza y la neumonía, sino por enfermedades respiratorias en general.

Los patrones geográficos de mortalidad por influenza y neumonía mostraron dos zonas con alta mortalidad, la primera de estas regiones es la región del Altiplano Central, la segunda está definida por su orografía accidentada: incluye a las partes montañosas del sotavento de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre Oriental. Aunque ambas regiones están a más de 1,000 m de altura, y sus valores típicos de temperatura y humedad son relativamente fríos y secos, se espera que la dinámica detrás de la mortalidad en estas regiones sea esencialmente diferente. Por ejemplo, la relativamente alta mortalidad sobre la segunda región, por su ubicación sobre regiones montañosas, podría estar mayormente ligada a los niveles relativamente altos de pobreza (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2019: 47). Un diagnóstico respecto a la relación entre pobreza y mortalidad por influenza y neumonía está fuera de los alcances de este estudio. Por otro lado, un diagnóstico preliminar sobre la primera región (el Altiplano Central) es que su alta mortalidad podría estar asociada a dos factores: la densidad poblacional alta, y la transmisibilidad de patógenos alta ocasionada por su clima relativamente frío y seco.

Aunque es importante conocer las causas detrás de los patrones geográficos de mortalidad, tal vez sea más importante conocer qué causa que un año en particular tenga más casos de lo normal, por ejemplo, el 2012. Para este año, los resultados confirmaron dos diagnósticos documentados en este estudio. (1) La mayoría de los casos en números totales se registraron sobre las regiones más pobladas. (2) Las tasas más altas de mortalidad se registraron durante las temporadas con meses más fríos (estaciones de otoño e invierno) (Chang *et al.*, 2016; Cilloniz *et al.*, 2017). Sin embargo, la influencia que tuvieron las anomalías de temperatura y humedad de este año en particular en la alta mortalidad no fue evidente; el 2012 no fue más frío de lo normal, tampoco más seco, pero sí hubo notablemente más muertes por influenza y neumonía. Estos resultados sugieren que condiciones frías y secas pueden ayudar a explicar patrones promedio de la ocurrencia de influenza y neumonía, pero estas condiciones climáticas no necesariamente pueden explicar los patrones anómalos, ni años atípicos o sus tendencias. Una posible explicación de porqué durante el 2012 la mortalidad fue muy alta pero las condiciones climáticas no fueron anormales es que, en ese año, los agentes infecciosos tuvieron una dinámica diferente a la de otros años (Ruiz-Matus *et al.*, 2017). Sin embargo, tal explicación no resuelve la pregunta de qué papel tuvo el clima en ese año. Nuestros resultados, que sugieren un papel relativamente pequeño del clima para ese año, tendrían que ser verificados con más casos de estudio, y otras variables climáticas con mayor resolución temporal y espacial. También, idealmente, un estudio de tal tipo no se limitaría a un diagnóstico de registros de mortalidad, ya que también incluiría registros de casos presentados y su grado de severidad, y el grado de vulnerabilidad humana a las infecciones respiratorias sobre las regiones más afectadas.

Otro aspecto de los resultados mostrados que requiere un análisis de vulnerabilidad es que las tasas de mortalidad más bajas en regiones pobladas ocurren notablemente en las ciudades más grandes, como la Ciudad de México y Guadalajara. Idealmente, un análisis de vulnerabilidad para explorar este resultado incluiría un diagnóstico respecto a factores socio económicos, políticos y culturales, y biológicos. Sin duda, estos son temas interesantes para posibles investigaciones futuras. Por ejemplo, dentro de los factores socioeconómicos posibles líneas de investigación podrían incluir la movilidad de las personas, estrategias de vacunación y prevención de contagios, o disponibilidad y acceso a cuidados hospitalarios. Por el lado de factores biológicos, posibles líneas de investigación incluirían aspectos relacionados a la dispersión de agentes infecciones y hábitos personales, a la inmunodeficiencia (e. g., secundaria asociada a la desnutrición y falta de lactancia materna en menores de 6 meses de edad), enfermedades crónicas, predisposición a complicaciones severas por inmunocompromiso (e. g., por diabetes o infección por VIH/SIDA), inmunosenescia en la población geriátrica, genética individual y genómica, entre muchos otros factores.

Otro componente importante de la mortalidad por influenza-neumonía que deben de considerar futuros estudios es su caracterización demográfica: ¿Qué grupos poblacionales divididos por edad y género fueron los más afectados? ¿Qué diferencias espaciales existen? ¿Cómo influye el clima, tanto por los valores medios como por eventos extremos? Las respuestas a estas preguntas, junto con los resultados de este estudio, podría ser de ayuda, entre otras cosas, al diseño y optimización de campañas de vacunación por influenza y constituyen las bases para los siguientes estudios de este grupo de trabajo. Es crucial la construcción de una caracterización cuantitativa de la vulnerabilidad a enfermedades respiratorias en México, y en particular, la caracterización de la vulnerabilidad de grupos etarios como infantes y adultos mayores, así como las de personas con enfermedades crónicas como hipertensión, asma, diabetes y enfermedad cardiovascular (Musher y Thorner, 2014: 1627; Bunker *et al.*, 2016: 29). Estos aspectos relativos a la vulnerabilidad de la población a enfermedades respiratorias son de particular relevancia en el contexto de la pandemia de coronavirus desatada en el 2020.

## Bibliografía

- ALONSO, Wladimir; LARANJEIRA, Bruno J.; PEREIRA, Samuel A.; FLORENCIO, Caroline M.; MORENO, Eduardo C.; MILLER, Mark A.; GIGLIO, Ricardo; SCHUK-PAIM, Cynthia; y MOURA, Fernanda E. A. (2012). “Comparative Dynamics, Morbidity and Mortality Burden of Pediatric Viral Respiratory Infections in an Equatorial City”. *The Pediatric Infectious Disease Journal*, 31(1), e9-e14. doi.org/10.1097%2FINF.0b013e31823883be
- AMANTE, Christopher; y EAKINS, Barry W. (2008). “ETOP01 1 Arc-minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis”. *NOAA Technical Memo-*

- randum NESDIS NGDC-24*. National Geophysical Data Center, NOAA. doi.org/10.7289/V5C8276M
- BORJA-ABURTO, Victor Hugo; CHOWELL, Gerardo; VIBOUD, Cécile; SIMONSEN, Lone; MILLER, Mark A.; GRAJALES-MUÑIZ, Concepción; GONZÁLEZ-BONILLA, Cesar R.; DIAZ-QUINONES, Jose A; y ECHEVARRÍA-ZUNO, Santiago. (2012). “Epidemiological Characterization of a Fourth Wave of Pandemic A/H1N1 Influenza in Mexico, Winter 2011-2012: Age Shift and Severity”. *Archives of Medical Research*, 43(7), 563-570. doi.org/10.1016/j.arcmed.2012.09.005
- BUNKER, Aditi; WILDENHAIN, Jan; VANDENBERGH, Alina; HENSCHKE, Nicholas; ROCKLÖV, Joacim; HAJAT, Shakoor; y SAUERBORN, Rainer. (2016). “Effects of Air Temperature on Climate-sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; A Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence”. *EbioMedicine*, 6, 258-268. doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034
- CAWCUTT, Kelly; y KALIL, Andre C. (2017). “Pneumonia with Bacterial and Viral Coinfection”. *Current Opinion on Critical Care*, 23(5), 385-390. doi.org/10.1097/MCC.0000000000000435
- CHANG, D. H.; BEDNARCZYK, Robert A.; BECKER, Edmund R.; HOCKENBERRY, Jason M.; WEISS, Paul S.; ORENSTEIN, Walter A.; y OMER, Saad B. (2016). “Trends in U. S. Hospitalizations and Inpatient Deaths from Pneumonia and Influenza, 1996-2011”. *Vaccine*, 34(4), 486-494. doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.12.003
- CHOWELL, Gerardo; y VIBOUD, Cécile. (2016). “Pandemic Influenza and Socioeconomic Disparities: Lessons from 1918 Chicago”. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 113(48), 13557-13559. doi.org/10.1073/pnas.1616537113
- CHOWELL, Gerardo; VIBOUD, Cécile; SIMONSEN, Lone; MILLER, Mark A.; y ACUNA-SOTO, Rodolfo. (2011). “Mortality Patterns Associated with the 1918 Influenza Pandemic in Mexico: Evidence for a Spring Herald Wave and Lack of Preexisting Immunity in Older Populations”. *The Journal of Infectious Diseases*, 202(4), 567–575. doi.org/10.1086/654897
- CILLONIZ, Catia; EWIG, Santiago; GABARRUS, Albert; FERRER, Miquel; PUIG DE LA BELLA CASA, Jorge; MENSA, Josep; y TORRES, Antoni. (2017). “Seasonality of Pathogens Causing Community-acquired Pneumonia”. *Respirology*, 22(4), 778-785. doi.org/10.1111/resp.12978
- CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE ENFERMEDADES (CIE). (s.f.). Consultado el 20 de octubre de 2018 en <https://www.who.int/classifications/icd/en/>
- CLIMATE RESEARCH UNIT (CRU). (2019). “TS4.01”. Consultado el 27 de agosto del 2019 en: [http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru\\_ts/cru\\_ts\\_4.01/data/](http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_4.01/data/)
- DÁVILA, Javier; CHOWELL, Gerardo; BORJA-ABURTO, Victor H.; VIBOUD, Cécile; GRAJALES MUÑIZ, Concepción, y MILLER, Mark. (2014). “Substantial Morbidity and Mortality Associated with Pandemic A/H1N1 Influenza in Mexico, Winter 2013-2014: Gradual Age Shift and Severity”. *PLoS Currents Outbreaks*. doi.org/10.1371%2Fcurrents.outbreaks.a855a92f19db1d90ca955f5e908d6631

- DAVIS, Brian M.; AIELLO, Allison E.; DAWID, Suzanne; ROHANI, Pejman; SHRESTHA, Sourya; y FOXMAN, Betsy. (2012). “Influenza and Community-acquired Pneumonia Interactions: The Impact of Order and Time of Infection on Population Patterns”. *American Journal of Epidemiology*, 175(5), 363-367. doi.org/10.1093/aje/kwr402
- FERNANDES-MATANO, Larissa; MONROY-MUÑOZ, Irma Eloisa; ÁNGELES-MARTÍNEZ, Javier; SARQUIZ-MARTINEZ, Brenda; PALOMEC-NAVA, Iliana Donají; PARDAVÉ-ALEJANDRE, Héctor Daniel; COY-ARECHAVALETA, Santos Andrea; SANTA-CRUZ TINOCO, Clara Esperanza; GONZÁLEZ-IBARRA, Joaquín; GONZÁLEZ-BONILLA, Cesar Raúl; y MUÑOZ-MEDINA, José Esteban. (2017). “Prevalence of Non-influenza Respiratory Viruses in Acute Respiratory Infection Cases in Mexico”. *PLoS ONE*, 12(5). doi.org/10.1371/journal.pone.0176298
- FERNÁNDEZ-CANTÓN, Sonia B.; y PERDIGÓN VILLASEÑOR, Gerardo. (2009). “Evolución de la mortalidad por neumonías en México 1990-2007”. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 67(1), 81-83.
- GARCÍA, Enriqueta. (2004). *Modificaciones al sistema climático de Köppen*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- GLOBAL BURDEN OF DISEASE (GBD). (2015). “Estimates of the Global, Regional, and National Morbidity, Mortality, and Aetiologies of Lower Respiratory Tract Infections in 195 Countries: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015”. *The Lancet Infectious Diseases*, 17(11), 1133-1161. doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30396-1
- HAJJAR, Sami Al; y MCINTOSH, Kenneth. (2010). “The First Influenza Pandemic of the 21st Century.” *Annals of Saudi Medicine*, 30(1), 1-10.
- HARRIS, I.; JONES, P. D.; OSBORN, T. J.; y LISTER, D. H. (2014). “Updated High- resolution Grids of Monthly Climatic Observations — The CRU TS3.10 Dataset”. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623-642. doi.org/10.1002/joc.3711
- THE INSTITUTE OF HEALTH METRICS AND EVALUATION. (2020). “Mexico” (en línea). *IHME*. Recuperado el 3 de mayo de <http://www.healthdata.org/mexico>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). (2010). “Censos”. Consultado el 19 de octubre de 2018 en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html>.
- JOHNSON, Niall P. A. S.; y MUELLER, Juergen. (2002). “Updating the Accounts: Global Mortality of the 1918–1920 ‘Spanish’ Influenza Pandemic”. *Bulletin of the History of Medicine*, 76(1), 105-115. doi.org/10.1353/bhm.2002.0022
- KURI-MORALES, Pablo; GALVÁN, Fernando; CRAVIOTO, Patricia; ZÁRRAGA-ROSAS, Luis Alberto; y TAPIA-CONYER, Roberto. (2006). “Mortalidad en México por influenza y neumonía (1990- 2005)”. *Salud Pública de México*, 48(5), 379-384.
- LONGINI, Ira M. Jr.; HALLORAN, M. Elizabeth; NIZAM, Azhar; y YANG, Yang. (2004). “Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agents”. *American Journal of Epidemiology*, 159(7), 623–633. doi.org/10.1093/aje/kwh092
- MCALLISTER, David A.; LIU, Li; SHI, Ting; CHU, Yue; REED, Craig; BURROWS, John; ADELOYE, Davies; RUDAN, Igor; BLACK, Robert E.; CAMPBELL, Harry; y NAIR, Harish. (2019). “Global, Regional, and National Estimates of Pneumonia Morbidity and

- Mortality in Children Younger Than 5 Years between 2000 and 2015: A Systematic Analysis.” *The Lancet Global Health*, 7(1), e47-e57. doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30408-X
- MCCULLERS, Jonathan A. (2006). “Insights into the Interaction between Influenza Virus and Pneumococcus”. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(3), 571-582. doi.org/10.1128%2FCMR.00058-05
- MORAWSKA, L. (2006). “Droplet Fate in Indoor Environments, Or Can We Prevent the Spread of Infection?” *Indoor Air*, 16(5), 335–347. doi.org/10.1111/j.ç1600-0668.2006.00432.x
- MORENS, David M.; y TAUBENBERGER, Jeffrey K. (2018a). “Influenza Cataclysm, 1918”. *The New England Journal of Medicine*, 379(24), 2285-2287. doi.org/10.1056/NEJMp1814447
- MORENS, David M.; y TAUBENBERGER, Jeffrey K. (2018b). “The Mother of All Pandemics Is 100 Years Old (and Going Strong!)”. *American Journal of Public Health*, 108(11), 1449-1454. doi.org/10.2105/AJPH.2018.304631
- MORENS, David M., TAUBENBERGER, Jeffrey K.; y FAUCL, Anthony S. (2008). “Predominant Role of Bacterial Pneumonia as a Cause of Death in Pandemic Influenza: Implications for Pandemic Influenza Preparedness”. *The Journal of Infectious Diseases*, 198(7), 962-970. doi.org/10.1086/591708
- MURDOCH, Katherine M.; MITRA, Biswadev; LAMBERT, Stephen; y ERBAS, Bircan. (2014). “What Is the Seasonal Distribution of Community Acquired Pneumonia over Time? A Systematic Review”. *Australasian Emergency Nursing Journal*, 17(1), 30-42. doi.org/10.1016/j.aenj.2013.12.002
- MUSHER, Daniel M.; y THORNER, Anna R. (2014). “Community-acquired Pneumonia”. *The New England Journal of Medicine*, 371(17), 1619-1628. doi.org/10.1056/NEJMra1312885
- NEW, Mark; HULME, Mike; y JONES, Phil. (1999). “Representing Twentieth-century Space-time Climate Variability. Part I: Development of a 1961-90 Mean Monthly Terrestrial climatology. *Journal of Climate*, 12(3), 829–856. doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<0829:RTCSTC>2.0.CO;2
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2013). “Las muertes infantiles en el mundo se han reducido casi a la mitad desde 1990, dice la ONU” (en línea). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 20 de mayo del 2019 de [https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/child\\_mortality\\_causes\\_20130913/es/](https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/child_mortality_causes_20130913/es/)
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2018a). “Influenza (Seasonal)” (en línea). *World Health Organization*. Recuperado el 10 de abril de 2020 de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/influenza>
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2018b) “Pneumonia” (en línea). *World Health Organization*. Recuperado el 10 de abril de 2020 de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2019) “Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic” (en línea). *World Health Organization*. Recuperado el 1 de abril de 2020 de <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>

- PETROVA, Velislava N.; y RUSSELL, Colin A. (2018). “The Evolution of Seasonal Influenza Viruses”. *Nature Reviews: Microbiology*, 16(1), 47-60. doi.org/10.1038/nrmi-cro.2017.118
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). (2019). *Informe de Desarrollo Humano Municipal 2010–2015: Transformando México desde lo local*. Ciudad de México: PNUD.
- REYES CANCHE-PECH, Jose; CONDE-FERRAEZ, Laura; PUERTO-SOLIS, Marilyn; GONZALEZ-LOSA, Refugio; GRANJA-PÉREZ, Pilar; VILLANUEVA-JORGE, Salha; CHAN-GASCA, Maria; GÓMEZ-CARBALLO, Jesus; LÓPEZ-OCHOA, Luisa; JIMÉNEZ-DELGADILLO, Bertha; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, Iram; RAMÍREZ-PRADO, Jorge; y AYORA-TALAVERA, Guadalupe. (2017). “Temporal Distribution and Genetic Variants in Influenza A(H1N1)pdm09 Virus Circulating in Mexico, Seasons 2012 and 2013”. *PLoS ONE*, 12. doi.org/10.1371/journal.pone.0189363
- RIBOT, Jesse C.; MAGALHÃES, Antonio R.; y PANAGIDES, Stahis. (2005). *Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics*. Cambridge: Cambridge University Press. doi.org/10.1017/CBO9780511608308
- RUDAN, Igor; BOSCHI-PINTO, Cynthia; BILOGLAV, Zrinka; MULHOLLAND, Kim; y CAMPBELL, Harry. (2008). “Epidemiology and Etiology of Childhood Pneumonia”. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(5), 408-416B.
- RUIZ-MATUS, Cuitláhuac; KURI-MORALES, Pablo; y NARRO-ROBLES, José. (2017). “Comportamiento de las temporadas de influenza en México de 2010 a 2016, análisis y prospectiva”. *Gaceta Médica Mexicana*, 153, 205-213.
- SHAMAN, Jeffrey; y KOHN, Melvin. (2009). “Absolute Humidity Modulates Influenza Survival, Transmission, and Seasonality”. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 106(9), 3243–3248. doi.org/10.1073/pnas.0806852106
- SHAMAN, Jeffrey; PITZER, Virginia E.; VIBOUD, Cécile; GRENFELL, Bryan T.; y LIPSITCH, Marc. (2010). “Absolute Humidity and the Seasonal Onset of Influenza in the Continental United States”. *PLoS Biology*, 8(2), e1000316. doi.org/10.1371/journal.pbio.1000316
- SHRESTHA, Sourya; FOXMAN, Betsy; BERUS, Joshua; VAN PANHUIS, Willem G., STEINER, Claudia; VIBOUD, Cécile; y ROHANI, Pejman. (2015). “The Role of Influenza in the Epidemiology of Pneumonia”. *Scientific Reports*, 5, 15314. doi.org/10.1038/srep15314
- SHRESTHA, Sourya; FOXMAN, Betsy; WEINBERGER, Daniel M.; STEINER, Claudia; VIBOUD, Cécile; y ROHANI, Pejman. (2013). “Identifying the Interaction between Influenza and Pneumococcal Pneumonia Using Incidence Data”. *Science Translational Medicine*, 5(191), 191ra84. doi.org/10.1126/scitranslmed.3005982
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN EN SALUD (SINAIS). (2018). Consultado el 18 de octubre de 2018 en <http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/sinais/subsistema1.html>.
- STULL, Rolland. (2017). *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Vancouver: University of British Columbia.

WONG-CHEW, Rosa María; GARCÍA-LEÓN, Miguel L.; NOYOLA, Daniel E.; PEREZ GONZALEZ, Luis F.; GAITÁN MEZA, Jesús; VILASEÑOR-SIERRA, Alberto; MARTINEZ-AGUILAR, Gerardo; RIVERA-NUÑEZ, Hugo Victor; NEWTON-SÁNCHEZ, Oscar A.; FIRO-REYES, Verónica; DEL RÍO-ALMENDAREZ, Carlos N.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Alejandra Pamela; ORTIZ-GARCÍA, Enrique R.; NAVARRETE-NAVARRO, Susana; SORIA-RODRÍGUEZ, Carmen; CARRASCO-CASTILLO, Adoniram; SÁNCHEZ-MEDINA, Eneida; LÓPEZ-MARTÍNEZ, Irma; HERNÁNDEZ-ANDRADE, Teresa; ALPUCHE-ARANDA, Celia M.; y SANTOS-PRECIADO, José I. (2017). “Respiratory Viruses Detected in Mexican Children Younger than 5 Years Old with Community-acquired Pneumonia: A National Multicenter Study”. *International Journal of Infectious Diseases*, 62, 32-38. doi.org/10.1016/j.ijid.2017.06.020

# RESEÑAS

---

Reseña de DARTNELL, Lewis. *Origins: How the Earth Made Us*.  
Popular Science/History Collection. UK: Bodley Head.  
352 pp. ISBN: 978-1-847-92435-3

José LUGO HUBP  
Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

El libro *Origins. How the Earth made Us*, publicado en inglés el 31 de enero de 2019, contiene una introducción, nueve capítulos, una coda (conclusión), notas en 19 páginas, bibliografía, agradecimientos, Créditos y un índice alfabético en 36 páginas.<sup>1</sup> El autor se pregunta “¿Por qué el mundo es cómo es? Quiero analizar cómo la Tierra nos hizo”. Como un libro de historia, la obra empieza con los procesos geológicos que dieron lugar a los océanos y los continentes, a la vida orgánica; y sigue con los homínidos antecesores del hombre moderno, los recursos naturales y su aprovechamiento y la agricultura. Todos ellos elementos que son parte de la historia de la evolución de la humanidad y que incluyen estudios de las ciencias recientes de la geología y la antropología, originadas apenas en el siglo XIX, para dar cuenta de la historia humana.

Hay publicaciones que tratan lo anterior, con tres o más autores diferentes, de acuerdo con su especialidad. El mérito de Lewis Darnell consiste en explicar esta historia por el solo. Enlaza el desarrollo del hombre actual y sus antecesores en el ambiente geológico. Explica que el hombre moderno tiene unos 150,000 a 200,000 años en la Tierra; unos millones de años atrás los antepasados del hombre tenían rasgos completamente diferentes, como se observa en los fósiles estudiados, un ejemplo es la célebre Lucy descubierta en 1974 en Etiopía, donde vivió cerca de 3,500,000 años atrás.

Las condiciones geológicas condicionaron la evolución de los organismos, incluso las extinciones masivas, una de ellas definió el límite Paleozoico-Mesozoico, hace 250,000,000 de años, en el antiguo continente de Pangea, donde el 70% de las especies terrestres y las 90% de las marinas se extinguieron. Después de 10,000,000 de años hubo una recuperación, según explica Lewis Darnell. Otra gran extinción representa la frontera entre el Mesozoico y el Cenozoico hace unos 65,000,000 de años con la desaparición de los dinosaurios junto con miles de especies marinas y terrestres. Esto significó el desarrollo de los mamíferos a lo largo de decenas de millones de años.

<sup>1</sup> En publicación posterior la obra aparece con el título *Origins: How Earth's History Shaped Human History*. New York: Hachette Book Group. La versión traducida al español *Orígenes. Cómo la historia de la Tierra determina la historia de la humanidad*. (2019). México: Debate, motiva a señalar que este título muestra un sesgo determinista que no refleja la perspectiva dialéctica del autor. Cabe destacar que, con el título original, la obra se ha traducido a los idiomas con mayor número de hablantes en el mundo.

La formación de la gran fosa tectónica de Rift del oriente de África a lo largo de los últimos 30,000,000 de años originó condiciones climáticas y tectónicas únicas, dice el autor, que permitieron progresar la evolución de una rama de los primates que dio origen al ser humano. También la abertura de la cuenca del mar Mediterráneo hace 5,300,000 de años, y el proceso posterior de reducción por el movimiento del continente africano hacia Eurasia, propició en esta región las condiciones favorables para el desarrollo de una pródiga vida y la profusa navegación, donde el comercio acercó y expandió a diferentes culturas. En este lapso de la historia pasaron 3,000,000 de años entre el desarrollo de los homínidos y los 3,000 años atrás cuando los humanos fundieron el primer cobre.

Otro ejemplo de los cambios en la naturaleza que influyeron en las prácticas de la humanidad fueron los procesos que originaron a Inglaterra, a finales de la última glaciación, 12,000 años atrás, con el consecuente ascenso del nivel del mar de unos 130 m, lo que convirtió a esa región en una isla separada de Francia. Los habitantes que se asentaron desde Stonehenge enfrentaron diversas invasiones de pueblos establecidos alrededor, reforzando el sentimiento de unidad por su territorio insular. Durante decenas de miles de años antes, hace 40,000 años, se explica cómo el hombre pasó de la península de Indochina a Nueva Guinea y Australia. Y en América, las migraciones ocurrieron por la costa occidental, atravesando desde Alaska al istmo de Panamá y a Suramérica hace más de 12,500 años, todo ello expandiendo la especie humana, propiciando cambios genéticos de las especies esparcidas y domesticadas.

Se han estudiado eventos extraordinarios del pasado, cómo los cambios climáticos, el último fue el fin de la glaciación, de 18,000 a 12,000 años antes. En el territorio que comprende los Estados Unidos y Canadá, el lago Agassiz cubría una superficie de 500,000 km<sup>2</sup> cuando los bruscos cambios de temperatura lo reventaron (13,000 años), causando una gran inundación hacia el río Mackenzie, que desemboca al Ártico, provocando un ascenso el nivel de mar que afectó a la antigua costa norte de Canadá, proceso que modificó las corrientes marinas.

La variabilidad climática provocada por cambios geológicos influyó en el desarrollo de los humanos. La retirada de los glaciares favoreció que la agricultura fuera propicia simultáneamente en el mundo, los datos actuales consideran que el trigo y la cebada fueron cultivados 11,000 años atrás en Turquía y después en Mesopotamia. Hubo cultivos de arroz en China, maíz en Mesoamérica y papa en los Andes desde hace 9,000-7,000 años y siguió asociándose con otros cultivos domesticados en años posteriores. Más tarde, durante la *Pequeña Edad de Hielo* de mediados del siglo XIV a mediados XIX transcurrió un cambio climático que fomentó las epidemias, como la peste bubónica, que causó en cinco años la muerte de un tercio de la población de Europa y China; así como enormes pérdidas en la producción alrededor del mundo. No obstante, hubo ventajas que beneficiaron a los sobrevivientes y generaciones siguientes, como la mejor alimentación de los trabajadores del campo y artesanos ante la menor población que debían mantener.

El autor muestra un ejemplo de la influencia del conocimiento de los vientos y corrientes marinas, el viaje de Colón a las Bahamas y al Caribe y el regreso a Europa fue posible gracias al conocimiento de las corrientes de vientos que favorecían la navegación, sin los conocimientos adquiridos antes y durante la expedición hubiera sido imposible la travesía que transformó la historia mundial.

En esta obra se destacan numerosos hechos geográficos-geológicos que se conjugaron con saltos en el desarrollo de la humanidad. Lo anterior es una breve introducción al texto de Dartnell, el cual se apoya en más de 320 publicaciones científicas y llama la atención que más del 85% de las citas son de los últimos 20 años. Cabe reflexionar acerca de la enorme información novedosa sobre las culturas humanas, esperamos que esta historia siga enriqueciéndose año con año. Es muy significativo que casi toda la información reunida en el texto de Dartnell se haya producido en un tiempo tan breve, cuya amena lectura, abre una perspectiva muy amplia para desenrañar y conocer mejor nuestro planeta y analizar los históricos problemas globales asociados, como el crecimiento de la población, el cambio climático global y otros relacionados, como el estudio de los detonantes de las epidemias actuales.

*Orígenes* es un libro de ciencia-divulgación accesible a todo público, en especial para quienes se interesan por disciplinas como la Historia, Antropología, Geografía, Geología, Ecología y otras. Hay que tomar en cuenta que hacia la mitad del presente siglo el conocimiento de estos temas debe ser superado considerablemente, ya que si continúa el cambio de la temperatura con sus efectos de aumento del nivel del mar y la retirada de los glaciares en ese umbral, tendremos una geografía muy diferente que estudiar.

Reseña de *ANTIPODE* EDITORIAL COLLECTIVE (EDS.). (2019).  
*Keywords in Radical Geography: Antipode at 50*. Hoboken:  
Wiley Blackwell.

David HERRERA SANTANA

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México  
México

En 2019, la revista *Antipode: A Radical Journal of Geography* cumplió 50 años de existencia y para celebrar una década más de vida se publicó un número especial, *Keywords in Radical Geography: Antipode at 50*. Fundada en la *Clark University*, Worcester, Massachusetts, en 1969, *Antipode* reivindicó una geografía radical (anti-sexista, anti-colonial, anti-racista, anti-clasista) en un contexto académico en donde estudiantes y profesores que demandaban lo radical estaban siendo expulsados o limitados por el *mainstream* disciplinar. “A partir de llamar ‘una revista’ a unas cuatro docenas de páginas, los fundadores de *Antipode* crearon una salida para la publicación de trabajos que eran extremadamente críticos con el *status quo* y dedicados a los ideales de la justicia social” (Castree *et al.*, 2009: 3).

En sus inicios, *Antipode* adopta una crítica marxista que sustenta la radicalidad que reivindica. En la década de 1980, la revista abrió las puertas a otras perspectivas que permitieron, desde el punto de vista de quienes entonces engrosaban sus filas, una radicalidad y una crítica más amplia (feminismo, post-colonialismo, teorías post-estructuralistas, teorizaciones “verdes”) que se dirigía a delinear una nueva forma de conocimiento radical (Castree *et al.*, 2009; Theodore *et al.*, 2019). Sin embargo, en el número especial sobre el 40 aniversario, en 2009, Michael J. Watts realiza una autocrítica a tomar en consideración, a saber: que dicha radicalidad era muy utopista y que no contemplaba el contexto y los cambios en las condiciones sociales objetivas que estaban en marcha, por lo que no se despega del todo de un idealismo revolucionario.

Esa postura radical se transformó en una especie de ortodoxia que limitó mucho el propio alcance y sentido de la crítica. Son estos elementos los que sirven de pretexto para iniciar justamente el número especial *Keywords in Radical Geography* (Theodore *et al.*, 2019), cuestionando la pertinencia y la vigencia del pensamiento radical y crítico en la geografía y el mundo de hoy. La introducción contiene la profunda introspección y autocrítica a la que se somete tanto la trayectoria como los contenidos de *Antipode* a lo largo de medio siglo de vida. La reflexión sobre la utilidad de la revista no solamente se dirige a contextualizarla en el momento actual, sino también a los 50 años de producción intelectual radical y crítica, que responde a diversos contextos históricos, etapas, preocupaciones y experiencias.

Cabe recordar que el contexto de la fundación de *Antipode* es la revolución de 1968 (Wallerstein, 2010), las numerosas formas represivas de contención social, militarización, securitización y contrainsurgencia en el mundo y las múltiples expresiones contestatarias frente a estas reacciones (Herrera y González, 2018). En este sentido, la fundación de *Antipode* trascendió la experiencia en el campo de geografía, la más relevante hasta entonces por la reivindicación que hace de la radicalidad. Se trata de una reflexión colectiva inscrita en el contexto de las múltiples rebeliones y subversiones epistemológicas que acontecieron en el pensamiento social frente al positivismo y el conservadurismo imperantes en la época y frente al utilitarismo característico de ciertos campos disciplinares, como el de la geografía, los estudios regionales y relaciones internacionales, entre otros vinculados entre sí en torno al conocimiento del mundo, la orientación *problem-solving* que configuran, así como la forma de plantear métodos y estrategias de intervención en diversas realidades y contextos sociales, con una mirada colonial-racista, patriarcal-heteronormativa y de clase. De ahí la advertencia que lanzara David Harvey en 1976 como una especie de mandato para las labores colectivas de *Antipode*:

Las condiciones sociales objetivas exigen que digamos algo sensato y coherente o bien para siempre (por falta de credibilidad o, peor aún, por un mayor deterioro de las condiciones sociales objetivas) permanecer en silencio. Son las emergentes condiciones sociales objetivas y nuestra incapacidad patente para hacer frente a ellas, lo que esencialmente explica la necesidad de una revolución en el pensamiento geográfico. (citado en Theodore *et al.*, 2019: 2)

Y Harvey no hablaba en el vacío ni sin un sentido práctico. Como ha sido analizado desde la propia crítica interna de quienes colaboran en *Antipode* (Castree *et al.*, 2009; Theodore *et al.*, 2019), en la década de 1970 la crisis de sobreacumulación se hace presente con gran fuerza y con reajustes espacio-temporales (Harvey, 2007) revolucionando la escala mundial —y el resto—; también fue el momento donde apareció un fuerte cuestionamiento de la propia utilidad de la crítica y del sentido de la revolución que se planteó en las páginas de *Antipode*. La prevalencia entonces de una ortodoxia marxista, junto con la abrumadora presencia de una academia anglosajona occidental, puso en cuestionamiento si se podían alcanzar objetivos radicales mientras se tenían visiones y pensamientos sesgados sobre la realidad (Castree *et al.*, 2009; Theodore *et al.*, 2019). Tanto la inclusión de otras miradas como la expansión hacia otras latitudes se transformó en una imperante necesidad estratégica (Theodore *et al.*, 2019).

En el primer sentido, la apertura hacia otros enfoques y tradiciones teóricas conduce a la inclusión de numerosos referentes (Foucault, Negri, Latour, Said, Nancy, Rancière, Agamben, Haraway) que, al dialogar con aquellos referentes “tradicionales” (Marx, Gramsci, Polanyi), abrieron el campo de discusión, enriquecieron la mirada hacia políticas progresistas y formas radicales de pensamiento, en una línea que se aleja de la ortodoxia, sin recurrir al eclecticismo acrítico. Se afirmaba en el número especial sobre los 40 años:

Esta [crítica a partir de los nuevos referentes] a menudo toma la forma de enfoques más específicos y situados, en los que las políticas y prácticas ya existentes son reformuladas e interrogadas por su potencial transformador. Mientras que la economía, los Estados y los mercados tienden a aparecer como las categorías dominantes en los análisis político-económicos de la izquierda más convencional, los cuerpos espacializados, de género y racializados se hacen más visibles en estas miradas alternativas, como también lo hacen geográficamente procesos y prácticas específicas de imaginación y ensamblaje, así como la micropolítica de la emoción, el afecto y la ética. También hay una política de prefiguración marcada aquí (“sé el cambio que deseas ver” como decía Gandhi), que tiene como objetivo construir aspiraciones futuras alcanzables en el presente a través de una acumulación de pequeños cambios. Se trata de abrazar el “Poder juntos” en lugar del “poder sobre”. (Castree *et al.*, 2009: 5).

El cambio en perspectivas teórico-metodológicas se hizo acompañar de un intento de apertura hacia los conocimientos del “Sur” (*Theory from de South*) que se vio reflejado en el número editado en 1975 por Richard Peet y Milton Santos sobre “Subdesarrollo y dominación/dependencia”, que no logró ser tan incluyente, ni tampoco tuvo el impacto que se pretendía en un inicio. No obstante, el llamado era a alejarse del anglo centrismo característico de las publicaciones (Theodore *et al.*, 2019; Watts, 2009). A partir de entonces, *Antipode* ha albergado numerosas perspectivas y diversos análisis que se nutren de distintas tradiciones del pensamiento marxista, así como otras corrientes críticas cercanas, sin trascender el anglo centrismo y el occidentalismo, habiéndose centrado en una dinámica creciente en ciertos temas y autores (Theodore *et al.*, 2019).

En ese sentido, la radicalidad de *Antipode* ha sido la crítica al capitalismo, a la mercantilización, al racismo, las formas heteronormativas y el clasismo como sustento de las relaciones desiguales y opresivas de poder que se configuran en diversas escalas (Theodore *et al.*, 2019; Castree *et al.*, 2009; Watts, 2009). Esto se debe a la intención constante de producir un conocimiento útil, uno que se dirija a producir la anhelada revolución que el neoliberalismo y el *globalismo pop* decretaron desterrada (Beck, 1998). Como expresó Neil Smith: “Una de las grandes violencias de la era neoliberal fue la clausura de la imaginación política” (2009: 56).

Es, quizá, con ello en mente, que para conmemorar sus 50 años *Antipode* haya pensado en las “palabras clave” (*Keywords*) para la geografía radical del siglo XXI, con la perspectiva histórica que da la reflexión de medio siglo; un siglo que, como afirmara Adolfo Gilly (2006), se caracteriza por una “casi increíble acumulación de violencia” (20). Las y los autores que contribuyen a esclarecer estas palabras clave se caracterizan no sólo por su trayectoria política e intelectual, sino también por su compromiso con la necesidad de un pensamiento centrado en la dimensión estratégica de la comprensión y la denuncia del mundo, con miras a su transformación.

De esta forma, encontramos dentro de la *Keywords* discusiones sobre la agnotología (el estudio de la ignorancia), el *ethos* democrático, la economía comunitaria, la contrahegemonía, las geografías decoloniales, la conciencia política, la globalización radical y la discusión sobre lo común, que han sido temas recurrentes en el pensamiento social

y en la geografía radical de las últimas cuatro décadas, junto con otras “palabras” que conducen la reflexión sobre las dimensiones y perspectivas críticas, ámbitos, contextos y preocupaciones actuales, que se conjugan con aquellas que habían ocupado el centro del pensamiento radical hasta ahora.

Cindi Katz, Lynda Johnston, Andrea Gibbons, David Wilson, Gavin Brown, Colin McFarlane, entre otros, además del equipo editor encargado de este número especial, son las mentes detrás del análisis puntual de las 50 *Keywords* contenidas en las 279 páginas de este número. Basándose en el título de la clásica obra de Raymond Williams, *Keywords: A Vocabulary of Culture and Society*, *Antipode* propone “palabras clave” que, en apariencia caóticas e inconexas, contribuyan a la reflexión colectiva, a exaltar la valía de 50 años de trabajo, a provocar nuevos análisis y a mostrar la necesidad de apertura y reflexión permanentes.

El significado de estas palabras es una pregunta abierta, y podría decirse que la tarea de explorar su significado y uso puede abrir nuevas posibilidades políticas, que de lo contrario podrían pasar desapercibidas. En palabras de Theodore:

Creemos que [los colaboradores] son un grupo persuasivo, apasionado y riguroso en sus reflexiones sobre por qué “Amor” y “Fragmentos”, “Vulnerabilidad” y “Monumento”, y toda clase de otras palabras extrañas y maravillosas hablan e importan en las historias de la geografía radical, su condición actual y las posibles direcciones futuras. Y en este sentido, cada entrada también podría ser el comienzo de una nueva conversación . . . que es de lo que debe tratarse el proyecto radical. (Theodore *et. al.*, 2019: 9).

*Keywords in Radical Geography: Antipode at 50* es un valioso trabajo por la auto-crítica que realiza, el recuento de la historia de *Antipode* y la introspección en su legado, la reflexión sobre la valía de un registro de pensamiento situado, comprometido con la transformación del mundo, así como por el aporte en torno a categorías y conceptos actuales para la geografía.

## Referencias

- BECK, Ulrich. (1998) ¿Qué es la globalización? Falacias del globalismo, respuestas a la globalización. Barcelona: Paidós.
- CASTREE, Noel; CHATTERTON, Paul; HEYNEN, Nik; LARNER, Wendy; y WRIGHT, Melissa. (2009). “Introduction: The Point is to Change It”. *Antipode*, 41 (1), 1-9.
- GILLY, Adolfo. (2006). *Historia a contrapelo. Una constelación*. México: Era.
- HARVEY, David. (2007). *Espacios del capital*. Madrid: Akal.
- HERRERA, David; y GONZÁLEZ, Fabián. (2018). “El espacio dominante y el legado post-68 en México y el mundo: militarización, securitización y violencia”. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, (234), 287-314.
- SMITH, Neil. (2009). “The Revolutionary Imperative”. *Antipode*, 41(1), 50-65.

- THEODORE, Nik; JAZEEL, Tariq; KENT, Andy; y MCKITTRICK, Katherine. (2019), “Keywords in Radical Geography: An Introduction”. En *Antipode* Editorial Collective (Ed.). *Keywords in Radical Geography: Antipode at 50*. Hoboken: Wiley Blackwell. 2-13.
- WALLERSTEIN, Immanuel. (2010), *Análisis de sistemas-mundo. Una introducción*. México: Siglo XXI.
- WATTS, Michael J. (2009). “Now and Then”. *Antipode*, 41(1), 10-26.