

ISSN: 2395 - 8847

# DIGITAL CIENCIA@UAQRO

VOLUMEN 11 NÚMERO 2 JULIO - DICIEMBRE 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO





## PRESENTACIÓN

---

El Premio Alejandrina a la investigación nace en 1985 gracias al aprecio del Dr. Octavio A. Mondragón por la investigación universitaria. El Dr. Mondragón, exgobernador del Estado de Querétaro, otorga a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), primera institución de educación superior en el Estado, un fondo para la investigación. Este fondo tiene como objetivo primordial impulsar la investigación otorgando anualmente un reconocimiento a los investigadores. Actualmente, se convoca a participar para este premio a los investigadores de las áreas Ciencias Sociales y Humanísticas, así como Ciencias Naturales y Exactas otorgándose tres premios a los mejores trabajos de cada una de las áreas.

La revista DIGITAL CIENCIA@UAQRO dedica este número a la publicación de los trabajos premiados en 2018. Los artículos incluidos son dos del área Ciencias Sociales y Humanidades y dos del área Ciencias Naturales y Exactas.

El investigador ganador del primer lugar en el área Ciencias Naturales y Exactas fue el Dr. Eduardo Rojas González, de la Facultad de Ingeniería, de la UAQ. Su trabajo se titula “Un modelo general para suelos no saturados totalmente acoplado”, el cual atiende la problemática que plantean las obras más importantes de la ingeniería civil, tales como las presas, edificios, puentes, túneles y taludes que requieren de conocer el comportamiento de los suelos bajo diversos grados de saturación y diferentes combinaciones de cargas estáticas y dinámicas. En el modelo se incluyeron los fenómenos de histéresis de las curvas de retención, el endurecimiento por succión, el acoplamiento hidromecánico, el endurecimiento anisotrópico, el colapso y la expansión. La inclusión de estos fenómenos permitió que este modelo posea características no existentes en ningún modelo desarrollado anteriormente y que muestre una precisión igual o mayor a la de otros modelos más complejos.

El investigador ganador del segundo lugar en el área Ciencias Naturales y Exactas fue el Dr. Marco Tulio Angulo Ballesteros, del Nodo Multidisciplinario de Matemáticas Aplicadas del Instituto de Matemáticas de la UNAM – Juriquilla. Su trabajo se titula “Nuevas matemáticas para mapear redes ecológicas microbianas”, el cual desarrolla un nuevo formalismo matemático para inferir redes ecológicas microbianas resolviendo dos limitaciones. La primera se refiere a los algoritmos de inferencia existentes, los cuales requieren elegir *a priori* un modelo

parametrizado sobre la dinámica poblacional microbiana, subyacente a la comunidad. La segunda limitación es la poca informatividad de los datos metagenómicos originada por la estabilidad de muchas comunidades microbianas. El desarrollo del nuevo algoritmo de inferencia, matemáticamente riguroso, no requiere asumir ningún modelo poblacional e infiere todas las redes ecológicas que son consistentes con los datos. Se ilustró el algoritmo con datos simulados y se validó su desempeño usando datos experimentales. Este nuevo algoritmo puede ser un paso clave para modelar ecológicamente comunidades microbianas complejas como el microbiota intestinal humano.

La investigadora ganadora del segundo lugar en el área Ciencias Sociales y Humanidades, de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UAQ fue la Dra. Mirtha Leonela Urbina Villagómez. Su trabajo se titula “El Ytlapial, corazón del *Costumbre y la Memoria*”, el cual trata sobre la vida ritual de los barrios otomíes de Querétaro en la cual destaca una práctica nombrada *ytlapial* por los nahuas prehispánicos. Esta práctica es sostenida hasta hoy en día por los “herederos de las imágenes” quienes, para preservar la memoria de sus ancestros, conservan los rituales y hacen partícipe de ellos al barrio o a la comunidad. Mantienen oratorios y capillas familiares a las que convocan una extensa red de comunidades. En estos sitios de oración se encuentran objetos considerados sagrados. El *ytlapial* sólo puede entenderse como parte del culto a los muertos o de la relación entre el ídolo o el santo y el heredero. Su base moral está en el cuidado y la reciprocidad: “Yo cuido a mi santo, mi santo me cuida a mí”, “Tú me cuidas, mi santo te cuidará”, “Tú me cuidas, yo te recompensó y cuido de mi legado”.

La investigadora ganadora del tercer lugar en el área Ciencias Sociales y Humanidades, de la Facultad de Filosofía de la UAQ fue la Dra. Cecilia del Socorro Landa Fonseca. Su trabajo se titula “Ecos del Trienio Liberal en los reinos americanos”, en el cual se presentan las opiniones de algunos de los ministros reales durante la celebración de las Cortes de Madrid en el contexto del Trienio Liberal (1820 – 1823), mediante las cuales evaluaron las acciones de la administración española hacia los territorios americanos. Se muestran las sugerencias para terminar con los movimientos rebeldes evidenciando las posturas predominantes con respecto a los medios para lograr la pacificación y la falta de eficiencia que dieron como resultado la ruptura definitiva y la disolución de la monarquía hispánica (1821). Sin duda, la falta de sensibilidad política y el desconocimiento de las múltiples realidades americanas influyeron de manera definitiva en la disolución de la monarquía española.

La Dirección de Investigación y Posgrado, a través de la revista DIGITAL CIENCIA@UAQRO se complace en hacer llegar a ustedes esta muestra de las investigaciones desarrolladas en el Estado de Querétaro, las cuales contribuyen al saber y promueven la investigación universitaria honrando a quien otorgó facilidades para que esta se llevara a cabo *in memoria* de su esposa, Alejandrina Gaitán de Mondragón.

DRA. MA. GUADALUPE FLAVIA LOARCA PIÑA

# Un modelo general para suelos no saturados totalmente acoplado

# A General Fully Coupled Model for Unsaturated Soils

Eduardo Rojas González, Facultad de Ingeniería, UAQ

**RESUMEN.** En este trabajo se presenta un modelo constitutivo para suelos no saturados totalmente acoplado basado en el principio de los esfuerzos efectivos y que incluye los fenómenos de colapso por humedecimiento y expansión. El modelo se basa en la teoría del estado crítico y la ecuación de esfuerzos efectivos de Bishop, en donde el parámetro  $\chi$  de Bishop se obtiene mediante un modelo sólido-poroso capaz de simular ciclos de secado-humedecimiento. Además el modelo sólido-poroso permite realizar el acoplamiento hidromecánico de una manera sencilla sin requerir parámetros adicionales ni calibraciones previas. El resultado es un modelo sencillo totalmente acoplado que requiere pocos parámetros y que proporciona resultados suficientemente precisos. Adicionalmente, la matriz de rigidez es simétrica, lo que simplifica de manera importante su introducción en programas de elementos finitos para el análisis del comportamiento de grandes masas de suelo.

**PALABRAS CLAVE:** acoplamiento hidromecánico, estado crítico, modelos constitutivos.

**ABSTRACT.** In this work, a fully coupled model for unsaturated soils based on the effective stress principle including the phenomena of expansion and collapse is presented. It is based on the critical state theory and Bishop's effective stress equation. Bishop's parameter  $\chi$  is obtained through a porous-solid model able to simulate wetting-drying cycles. In addition, it allows introducing the hydro-mechanical coupling without additional parameters or previous calibrations. The result is a simple fully coupled model with few parameters and sufficiently precise. Additionally, its stiffness matrix is symmetric simplifying its introduction in finite elements software for the analysis of large masses of soil.

**KEYWORDS:** hydromechanical coupling, critical state, constitutive models.



## Introducción

Las obras más importantes de la ingeniería civil como las grandes presas de tierra, los edificios elevados, los puentes, los túneles y los taludes requieren de una cuidadosa modelación para conocer su comportamiento bajo diversos grados de saturación del suelo y diferentes combinaciones de cargas tanto estáticas como dinámicas. Es por ello que la modelación ha cobrado gran relevancia dentro de la ingeniería civil. Actualmente se utilizan programas de elementos finitos que pueden modelar desde el proceso constructivo hasta el comportamiento a largo plazo de diversas obras. Estos programas, requieren de modelos de comportamiento del suelo que cumplan con las siguientes características:

- que sean sencillos,
- que utilicen pocos parámetros y que se puedan obtener con ensayos comunes de laboratorio
- que sus algoritmos se pueda integrar fácilmente a los procedimientos numéricos comunes.

A la fecha, estos programas utilizan mayoritariamente el modelo básico de Barcelona (Alonso y cols., 1990) el cual se basa en las llamadas variables de esfuerzo independientes. Sin embargo, actualmente existe consenso entre los investigadores de que los modelos basados en el principio de esfuerzos efectivos ofrecen mayores ventajas. Entre las más importantes están la introducción tanto del grado de saturación como la histéresis de las curvas de retención suelo-agua en la formulación del modelo. Aún con estas ventajas, los modelos desarrollados hasta ahora adolecen de cuatro deficiencias importantes:

- no incluyen el endurecimiento anisotrópico de la superficie de fluencia en los ejes de esfuerzo medio contra desviador provocado por el fenómeno de endurecimiento por succión. Esto se debe a la complejidad que involucra el tener una superficie de fluencia que cambie de forma.
- Actualmente no existe un solo modelo que incluya simultáneamente los fenómenos de colapso y expansión en términos de esfuerzos efectivos.
- Estos modelos requieren un gran número de parámetros, algunos de los cuales necesitan calibrarse previamente para cada suelo en particular.
- Las matrices de rigidez que resultan de estos modelos no son simétricas por lo que se dificulta su



FUENTE. Cortesía del autor.

tratamiento en los programas de método numéricos como el método del elemento finito.

Entre los modelos más representativos basados en esfuerzos efectivos se encuentran los de Vaunat y cols. 2000, Khalili y cols. 2008, Ma y cols. 2015, Zhou y Sheng 2015, Yao y cols. 2017. Estos modelos requieren entre 11 y 13 parámetros, algunos de los cuales necesitan de una calibración previa.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo constitutivo general para suelos no saturados que incluya los fenómenos de histéresis de las curvas de retención, endurecimiento por succión, endurecimiento anisotrópico de la superficie de fluencia, acoplamiento hidromecánico, colapso por humedecimiento y expansión. Además se plantea que la matriz de rigidez del modelo sea simétrica con un número de parámetros reducido y que éstos se puedan obtener de ensayos comunes de laboratorio.

La hipótesis que se establece en este trabajo es que es posible extender el modelo modificado del estado crítico, para incluir todos los fenómenos arriba mencionados, sin tener que incrementar de manera significativa el número de parámetros del modelo ni comprometer su precisión.

La metodología empleada para desarrollar este modelo es la siguiente: se propone una superficie de fluencia en términos del esfuerzo efectivo de Bishop y del esfuerzo desviador similar a la del modelo del



FUENTE. Cortesía del autor.

estado crítico modificado para suelos saturados (Schofield y Wroth 1968) pero formada por dos familias de curvas. Esta superficie de fluencia tiene la propiedad de modificar la posición del estado crítico y cambiar de forma. El parámetro de esfuerzos efectivos de Bishop se obtiene acoplando un modelo hidráulico al modelo mecánico. El modelo hidráulico se basa en un sólido-poroso capaz de simular las curvas de retención suelo-agua en ciclos de humedecimiento-secado. El acoplamiento hidromecánico se logra al ligar las deformaciones volumétricas determinadas por el modelo mecánico con un cambio en la porosimetría del suelo que a su vez genera cambios en las curvas de retención. Simultáneamente, esto modifica el valor del parámetro de esfuerzos efectivos de Bishop, provocando que se afecten las deformaciones volumétricas y desviadoras. De esta manera, para acoplar el modelo mecánico con el hidráulico, es necesario proceder por pequeños incrementos de carga para calcular los incrementos de deformaciones y actualizar tanto la porosimetría como las curvas de retención del suelo. El siguiente incremento de carga utiliza las curvas de retención actualizadas. De esta manera se procede paulatinamente hasta completar el ciclo de carga. A este modelo acoplado se le añade un marco elastoplástico para incluir los fenómenos de colapso y expansión.

### Marco teórico

Los tres fenómenos que tienen mayor influencia en el comportamiento de los suelos no saturados son:

- a. el endurecimiento por succión,
- b. el acoplamiento hidromecánico y
- c. la histéresis de las curvas de retención suelo-agua.

Además, a consecuencia del fenómeno de endurecimiento por succión, se genera el endurecimiento anisotrópico de la superficie de fluencia. Cada uno de estos fenómenos se irá explicando conforme se desarrollan las ecuaciones del modelo propuesto.

En primera aproximación, la superficie de fluencia en los ejes de esfuerzo medio efectivo ( $p'$ ) contra esfuerzo desviador ( $q$ ) se propone de forma elíptica, igual a la del modelo del estado crítico modificado. Sin embargo, como se verá más adelante, esta superficie tendrá que transformarse en dos familias de curvas que dan por resultado diferentes formas que irán evolucionando con la historia de carga aplicada

al suelo. El esfuerzo medio efectivo está representado por la ecuación de Bishop 1959

$$p' = p_n + \chi s \tag{1}$$

donde  $p_n = p - u_a$  representa el esfuerzo medio neto definido como la diferencia entre el esfuerzo medio total ( $p$ ) y la presión de aire ( $u_a$ ).  $\chi s$  es el esfuerzo de succión donde  $\chi$  es el parámetro de Bishop que se obtiene por medio de un modelo sólido-poroso y  $s$  es la succión.

Cuando los incrementos de carga van precedidos de algún incremento de succión por encima de la succión máxima histórica, ocurre el fenómeno de endurecimiento por succión. Este fenómeno es el que tiene mayor influencia en el comportamiento de los suelos no saturados y ocurre porque las componentes del esfuerzo efectivo: esfuerzo neto y esfuerzo de succión, actúan de manera independiente. Cuando un suelo se seca, su esfuerzo de preconsolidación aparente se incrementa en una cantidad igual al incremento del esfuerzo de succión. El esfuerzo de preconsolidación aparente es aquel que muestra el suelo a cierta succión y se denomina aparente porque al reducirse la succión, este esfuerzo también se reduce. El esfuerzo de preconsolidación saturado es el que muestra el suelo después de sufrir un ciclo de secado-humedecimiento hasta llegar nuevamente a la saturación. La Fig. 1 (A) representa el comportamiento volumétrico de un suelo en los ejes logaritmo del esfuerzo medio efectivo ( $p'$ ) contra la relación de vacíos ( $e$ ). La ecuación que representa el comportamiento volumétrico del material está dada por una relación similar a la propuesta por Juárez Badillo (1975) pero expresada en términos de la relación de vacíos en vez del volumen específico:  $(e/e_0) = (p'/p'_0)^\lambda$ , en donde  $e_0$  y  $p'_0$  representan el estado inicial de referencia y  $\lambda$  es el índice de compresión elastoplástico del suelo. En el caso de descarga-recarga el índice se sustituye por el índice elástico  $\kappa$ , como indica la Fig. 1 (A). Derivando esta ecuación se puede obtener el incremento de la deformación volumétrica plástica

$$d\varepsilon_v^p = (\lambda - \kappa) \frac{e_0}{1 + e_0} \left( \frac{dp'}{p'_0} \right) \tag{2}$$

Suponga que una muestra saturada normalmente consolidada soporta un esfuerzo medio neto  $p_{n0}$  indicado por el punto 0 en al Fig. 1. Si la muestra se seca, el esfuerzo medio efectivo se incrementa en la cantidad  $\chi_0 s_0$ , en donde  $s_0$  representa la succión máxima

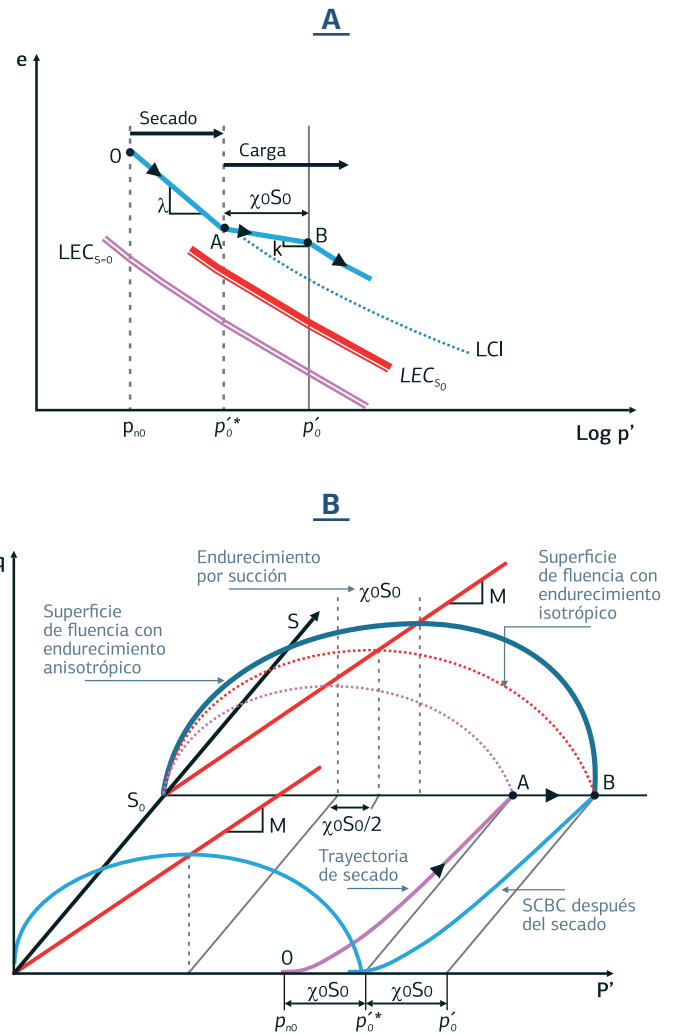


FIGURA 1. (A) El endurecimiento por succión desplaza la LCI y LEC en la cantidad  $\chi_0 s_0$ , (B) la superficie de fluencia en los ejes ( $p'$ ,  $q$ ) muestra endurecimiento anisotrópico.

alcanzada durante el secado y  $\chi_0$  representa el valor del parámetro de Bishop para esta succión. Durante el secado, el esfuerzo medio efectivo se desplaza del punto 0 al punto A siguiendo la línea de compresión isotrópica (LCI) en la Fig. 1 (A). Este comportamiento se ilustra en representación tridimensional en los ejes de esfuerzo medio efectivo ( $p'$ ), esfuerzo desviador ( $q$ ) y succión ( $s$ ) en la Fig. 1 (B). Si después del secado, la muestra se carga por incremento del esfuerzo medio neto, ocurre un comportamiento elástico inicial (trayectoria AB) hasta que se alcanza el esfuerzo aparente de preconsolidación ( $p'_0$ ). Este esfuerzo aparente de preconsolidación (punto B) está representado por la suma del esfuerzo medio efectivo al final del secado ( $p_0'$ , punto A) más el esfuerzo de succión ( $\chi_0 s_0$ ) como indica la Fig. 1 (B). Si el esfuerzo



medio neto se sigue incrementando, ocurren deformaciones elastoplásticas (línea punteada después del punto B en la Fig. 1 (A)). Esto quiere decir que el incremento del esfuerzo aparente de preconsolidación después del secado (punto B) con respecto al esfuerzo inicial de preconsolidación saturado ( $p_{n0}$ ), es dos veces el esfuerzo de succión  $\chi_0 s_0$  como se observa en la Fig. 1 (B). Por lo tanto, la superficie de fluencia que se denomina superficie de colapso bajo carga (SCBC) corre paralela a la trayectoria de secado a una distancia horizontal igual al esfuerzo de succión  $\chi_0 s_0$  (Fig. 1 (B)). En otras palabras, cuando el esfuerzo efectivo se incrementa en la cantidad  $\Delta(\chi s)$ , el esfuerzo aparente de preconsolidación lo hace en la cantidad  $2\Delta(\chi s)$ . Esto explica porqué los suelos no saturados muestran rápidamente un comportamiento preconsolidado cuando se secan. En contraste, cuando el esfuerzo efectivo se incrementa por aumento del esfuerzo medio neto más allá de la superficie de colapso bajo carga en una cantidad  $\Delta p_n$ , el esfuerzo aparente de preconsolidación ( $p_0'$ ) solo se incrementa en esta misma cantidad.

El endurecimiento por succión no solo desplaza la línea de compresión isotrópica como se muestra en la Fig. 1 (A), sino que arrastra consigo la línea del estado crítico (LEC) como lo han reportado Wheeler y Sivakumar 1995, Loret y Khalili 2002, Cunningham y cols. 2003, Futai y Almeida 2005.

En la Fig. 2 se muestran los desplazamientos de las líneas del estado crítico obtenidas experimentalmente (Ex) y las calculadas (N) por medio del esfuerzo de succión  $\chi_0 s_0$ . Es decir, las líneas de compresión y las del estado crítico se desplazan simultáneamente hacia la derecha con el incremento del esfuerzo de succión. El desplazamiento de ambas líneas se indica en la Fig. 1 (A), donde  $LEC_{s=0}$  y  $LEC_{s_0}$  representan las posiciones de la línea del estado crítico para succiones igual a 0 y  $s_0$ , respectivamente.

Relacionado con este fenómeno ocurre otro igualmente importante. Cuando la línea del estado crítico se desplaza por efecto del endurecimiento por succión, se produce un endurecimiento anisotrópico de la superficie de fluencia en el plano ( $p', q$ ). Esto se puede observar en la Fig. 1 (B) en donde se representa una superficie de fluencia elíptica. Cuando ocurre el endurecimiento por succión, las líneas de compresión isotrópica y del estado crítico se desplazan en la cantidad  $\chi_0 s_0$ . Sin embargo, cuando se considera un endurecimiento isotrópico, la cúspide de la elipse (que representa el punto del estado crítico)

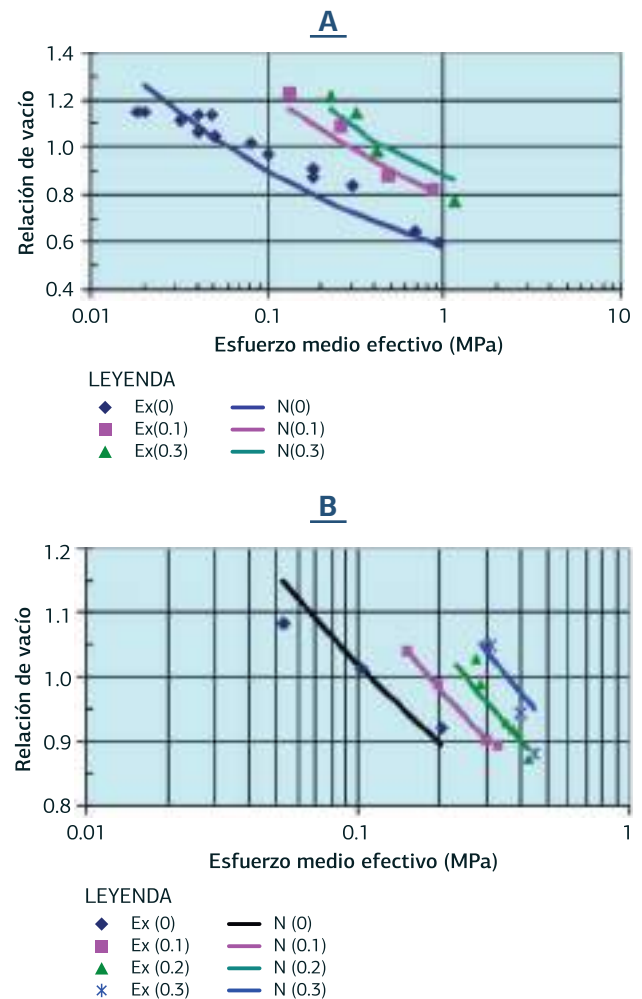


FIGURA 2. Efecto del endurecimiento por succión en las líneas del estado crítico. Resultados experimentales (Ex) de (A) Futai y Almeida (2005) y (B) Wheeler y Sivakumar (1995).

solo se desplaza en la cantidad  $\chi_0 s_0/2$  (Fig. 1 (B)). Por lo tanto, para desplazar la cúspide de la elipse en la cantidad  $\chi_0 s_0$ , es necesario que exista un endurecimiento anisotrópico de la superficie de fluencia. El endurecimiento anisotrópico implica un cambio en la forma de esta superficie. Esto introduce un grado de complejidad adicional al modelo, ya que ahora la superficie de fluencia debe expresarse en función del endurecimiento por succión y debe ser capaz de cambiar de forma.

## Modelo hidráulico

Los suelos generalmente exhiben una estructura dual, es decir que presentan una microestructura y una macroestructura. La microestructura está representada por las partículas más pequeñas agrupadas



en forma de glomérulos o flóculos con poros muy pequeños llamados microporos. La macroestructura está representada por la agrupación de glomérulos y partículas grandes con poros de gran tamaño denominados macroporos. Si este material se seca hasta alcanzar un valor de succión importante, se podrán observar tres fracciones. Una fracción saturada ( $f^s$ ) representada por los glomérulos o flóculos en donde el agua adsorbida llena todos los microporos y por lo tanto permanece saturada. Una fracción seca ( $f^d$ ) representada por aquellas partículas grandes rodeadas de macroporos que ya se han secado. Finalmente existe una fracción no saturada ( $f^u$ ) representada por las partículas rodeadas tanto por poros saturados como no saturados.

De acuerdo con un análisis estático (Rojas 2008a), el parámetro  $\chi$  de Bishop se puede expresar como la suma del producto de los grados de saturación de cada fracción ( $S_w^i$ ) por la fracción correspondiente, en la forma:  $\chi = S_w^s f^s + S_w^u f^u + S_w^d f^d$ . Dado que  $S_w^s = 1$  y  $S_w^d = 0$ , esta ecuación se simplifica a

$$\chi = f^s + S_w^u f^u \quad (3)$$

Los parámetros  $f^s$ ,  $f^u$  y  $S_w^u$  se pueden obtener por medio de un modelo sólido-poroso generado a partir de la granulometría y porosimetría del suelo como se explica en Rojas 2008b. Este modelo es capaz de simular las curvas primarias de retención del suelo así como ciclos de humedecimiento-secado. Dado que habitualmente la porosimetría no se obtiene en los laboratorios de mecánica de suelos, se pueden utilizar las curvas de retención experimentales para determinarla indirectamente. Así, al modificar progresivamente los datos de una porosimetría inicialmente propuesta, es posible ajustar las curvas de retención numéricas con las experimentales. De esta manera es posible obtener la porosimetría inicial del suelo y de allí obtener los parámetros  $f^s$ ,  $f^u$  y  $S_w^u$  para finalmente determinar el parámetro  $\chi$  de Bishop. La ventaja que presenta este modelo sobre otros es que el acoplamiento hidromecánico se puede realizar de manera muy sencilla ya que se sabe que el volumen de los macroporos es el único que disminuye cuando un suelo se comprime (Simms y Yanful 2001). Al determinar la porosimetría del suelo mediante el ajuste de las curvas de retención primarias, se determina el volumen inicial de macroporos. La deformación volumétrica que provoca un incremento de carga, representa la reducción del

volumen de macroporos, de manera que se obtiene una nueva porosimetría. Con esta nueva porosimetría es posible determinar las curvas de retención del suelo deformado y éstas se utilizan para calcular las deformaciones cuando ocurre un nuevo incremento de carga.

Por ejemplo, la Fig. 3 (A) muestra los resultados experimentales (Ex) de las curvas de retención en secado (S) y humedecimiento (H) obtenidas por Fleureau y cols. 1993 para el limo de Jossigny. En la misma figura, se muestra el ajuste numérico (N) para ambas curvas realizado con el modelo sólido-poroso. La Fig. 3 (B) muestra la porosimetría final que se adoptó al ajustar las curvas de retención. En la misma figura y con fines de comparación, se muestra la porosimetría experimental obtenida mediante la técnica de intrusión de mercurio. Una vez determinada la porosimetría del suelo, es posible obtener los parámetros  $f^s$ ,  $f^u$  y  $S_w^u$  para diversos valores de succión. De esta manera, mediante la Ec. (3), se puede obtener el parámetro  $\chi$  de Bishop en función de la succión como muestra la Fig. 3 (C).

## Modelo mecánico

Para incluir el fenómeno de endurecimiento anisotrópico, la superficie de fluencia en los ejes de esfuerzo medio efectivo contra succión se transforma en dos familias de curvas que se intersecan en el punto donde ocurre el estado crítico. Las ecuaciones propuestas para la curva izquierda, que simulará el comportamiento de materiales altamente preconsolidados, y la derecha, que simulará el comportamiento de suelos ligeramente preconsolidados y normalmente consolidados, son respectivamente

$$q^{a_1} - M^{a_1} \left\{ (rp'_0)^{a_1} - |p' - rp'_0|^{a_1} \right\} = 0 \quad (4)$$

$$q^{a_2} - \left( \frac{Mr}{1-r} \right)^{a_2} \left\{ (p'_0(1-r))^{a_2} - |p' - rp'_0|^{a_2} \right\} = 0$$

en donde  $a_1$  y  $a_2$  representan los exponentes de la parte izquierda y derecha de la superficie de fluencia, respectivamente.  $r$  es la relación entre el esfuerzo de preconsolidación aparente del suelo y el esfuerzo medio efectivo en el estado crítico. Los parámetros  $a_1$  y  $a_2$  permiten que la superficie de fluencia tome diversas formas iniciales dependiendo del tipo de suelo. El fenómeno de endurecimiento por succión

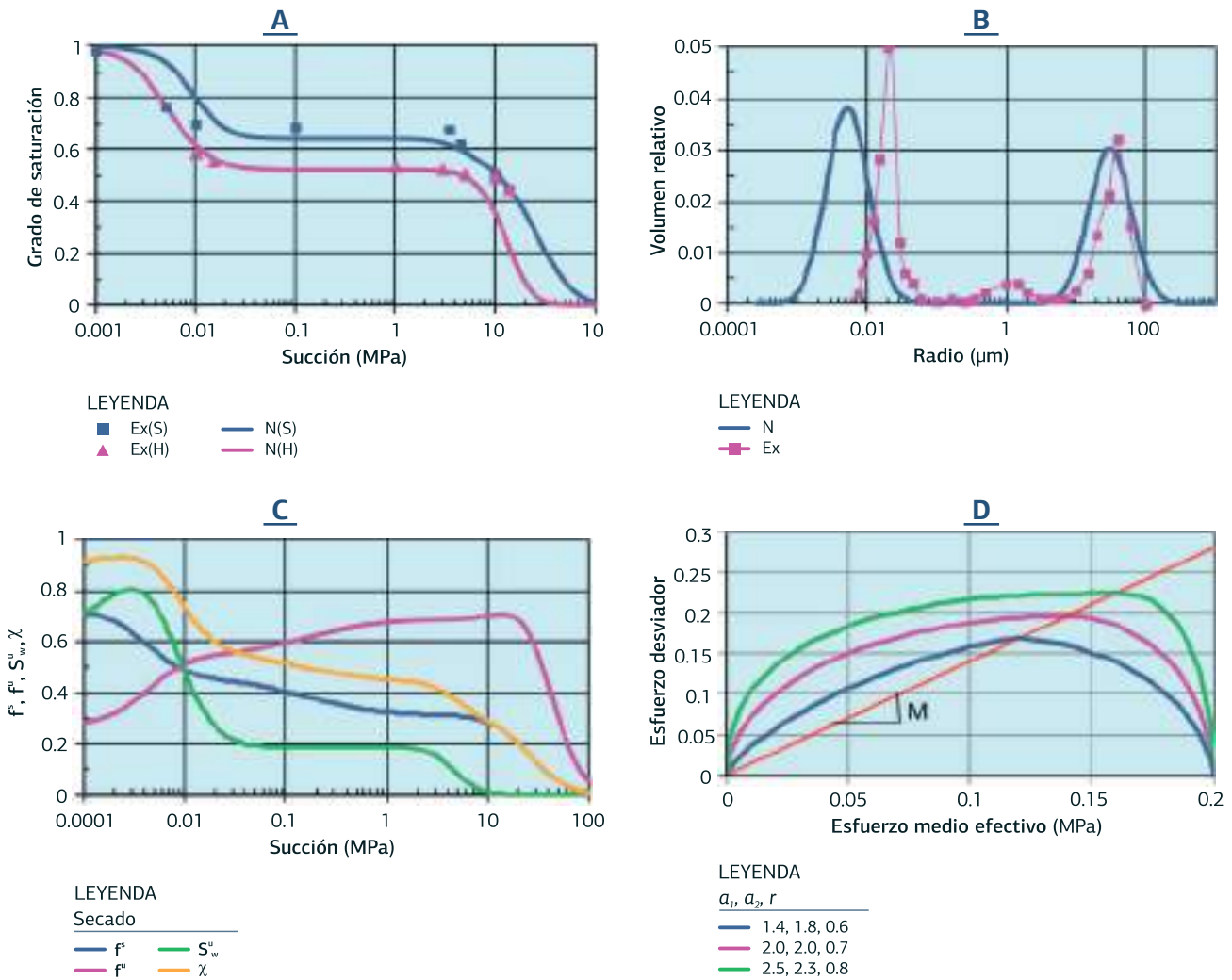


Figura 3. (A) Curvas de retención experimentales (Ex) y ajuste numérico (N). (B) Porosimetría experimental y obtenida con el modelo. Datos experimentales de Fleureau y cols. 1993. (C) valor de los parámetros  $f^s, f^u, S_w^u$  y  $\chi$ . (D) Diferentes formas de la superficie de fluencia en el plano  $(p',q)$ .

indicado en la Fig. 1, provoca que el valor de  $r$  se modifique con cada incremento de succión, produciendo un cambio de forma de la superficie de fluencia. Se utiliza la ecuación de la superficie de fluencia izquierda o derecha dependiendo del lado en que la trayectoria de esfuerzos hace contacto con esta superficie.

La ecuación (4) satisface la condición que ambas curvas se intersequen horizontalmente en el estado crítico para cualquier valor de  $a_1, a_2 > 1$ , y  $0 < r < 1$ . Algunas combinaciones de los parámetros  $a_1, a_2$  y  $r$  se muestran en la Fig. 3 (D). Los números indicados en esta figura para cada superficie, representan los valores de los parámetros  $a_1, a_2$  y  $r$ , en ese orden. Para la mayoría de los suelos los parámetros  $a_1$  y  $a_2$

toman valores entre 1.6 y 2.5, mientras que  $r$  varía entre 0.4 y 0.6.

Las componentes volumétrica  $\partial \epsilon_q^p$  y desviadora  $\partial \epsilon_p^p$  de la deformación plástica para modelos que consideran la regla de flujo normal, está dada por la ecuación

$$\begin{Bmatrix} d\epsilon_v^p \\ d\epsilon_p^p \end{Bmatrix} = \frac{-1}{\frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial p'}{\partial \epsilon_p^p}} \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial p'} & \frac{\partial f}{\partial q} \\ \frac{\partial f}{\partial q} & (\frac{\partial f}{\partial q})(\frac{\partial p'}{\partial q}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

en donde  $f$  representa la ecuación de la superficie de fluencia en los ejes  $(p',q)$ . La regla de flujo normal establece que el potencial plástico y la superficie de fluencia están representados por la misma ecuación.

De tal manera que sustituyendo las ecuaciones (1), (2) y (4) en la (5) se obtiene la relación

$$\begin{bmatrix} d\varepsilon_p^e \\ d\varepsilon_s^e \end{bmatrix} = \frac{1}{H} \begin{bmatrix} a_x \left[ M \left( h_1 + h_2 \left( \frac{r}{1-r} \right) \right) \right]^{a_x} (p' - p_0 r)^{(a_x-1)} & a_x q^{(a_x-1)} \\ a_x q^{(a_x-1)} & \frac{[a_x q^{(a_x-1)}]}{a_x \left[ M \left( h_1 + h_2 \left( \frac{r}{1-r} \right) \right) \right]^{a_x} (p' - p_0 r)^{(a_x-1)}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \quad (6)$$

en donde

$$H = \begin{Bmatrix} \frac{\lambda - \kappa}{vp_0 a_x (h_1 + h_2) \left[ M \left( h_1 + h_2 \left( \frac{r}{1-r} \right) \right) \right]^{a_x}} \\ \frac{1}{[h_1 + h_2(1-r)][p_0(h_1 r + h_2(1-r))]^{(a_x-1)} + (h_1 + h_2 r)(p' - p_0 r)^{(a_x-1)}} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

$\langle h_1 \rangle$  y  $\langle h_2 \rangle$  representan la función escalón para los lados izquierdo y derecho de la superficie de fluencia, respectivamente. Estas funciones toman los valores de 0 o 1 dependiendo del lado en donde hace contacto la trayectoria de esfuerzos con la superficie de fluencia.  $a_x$  representa el exponente de la superficie de fluencia correspondiente (izquierda o derecha). Observe que la matriz de rigidez permanece simétrica y se reduce a la del estado crítico modificado cuando  $a_1 = a_2 = 2.0$  y  $r = 0.5$ .

El comportamiento elástico se describe en función del índice de descarga-recarga  $\kappa$ , el esfuerzo medio efectivo, la relación de vacíos y el módulo de Poisson  $\nu$ . De esta manera, los módulos volumétrico y de cortante se pueden obtener a partir de relaciones elásticas que dan por resultado

$$K = \frac{1 + e}{e} \frac{p'}{\kappa} \quad G = \frac{3(1 - 2\nu)}{2(1 + \nu)} \frac{(1 + e)}{e} \frac{p'}{\kappa} \quad (8)$$

Finalmente, la regla de endurecimiento está dada por la Ec. (2) escrita en la forma

$$dp'_0 = \left( \frac{1 + e}{e} \right) \frac{p'_0}{\lambda - \kappa} d\varepsilon_p^e \quad (9)$$

Para incluir el fenómeno de colapso y expansión en el modelo, se utiliza el marco elastoplástico representado en la Fig. 4. Primero es necesario puntualizar que el fenómeno de colapso ocurre en la macroestructura del suelo, es decir que los macroporos reducen su tamaño (Simms y Yanful 2001), mientras que la expansión ocurren en la microestructura, es decir dentro de los glomérulos de suelo (Alonso y cols. 1999). Esta expansión de la microestructura se comunica a la macroestructura

dependiendo de la densidad del material. Si el suelo se encuentra en condición suelta, la expansión comunicada a la macroestructura es pequeña, dado que la mayor parte de la expansión de los glomérulos se producirá dentro de los macroporos. En contraste, si el suelo muestra una estructura compacta con pocos macroporos, entonces la mayor parte de la expansión de los glomérulos se comunicará a la macroestructura. Es decir, el índice de expansión es función directa de la compacidad o densidad relativa del material dada por la relación  $D_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$ . Así, el índice de expansión del suelo se expresa con la ecuación

$$\lambda_{ex} = (\lambda - \kappa) D_r + \kappa \quad (10)$$

La expansión puede ocurrir por humedecimiento del suelo o bien por descarga. Por el contrario, si el suelo se seca o se carga dentro de la zona elástica de la macroestructura como indica la Fig. 4, entonces se produce una compresión dada por el índice  $-\lambda_{ex}$ . En esta figura se muestra la superficie de colapso bajo carga (SCBC) posterior a un secado e incremento de carga neta. Cuando el material se carga más allá del esfuerzo de preconsolidación aparente, la superficie de fluencia de colapso bajo carga se inclina. Esto provoca que, si la succión se reduce, la trayectoria de humedecimiento cruce la superficie de colapso, de tal manera que el suelo reduce su volumen súbitamente. En tal caso, el índice de compresión  $\lambda$  está dado por el índice de compresión isotrópica por incremento del esfuerzo medio neto. Sin embargo, en el caso de un suelo expansivo, el humedecimiento en estas condiciones provoca un fenómeno dual, es decir la macroestructura se colapsa mientras que la microestructura se expande. Así el índice de compresión del suelo está dado por la relación

$$\lambda_{cex} = \lambda_e - \lambda_{ex} + \kappa = (\lambda_e - \kappa)(1 - D_r) + \kappa \quad (11)$$

La Fig. 4 también indica la posición de la superficie de fluencia por incremento de succión (SFIS) que representa el valor máximo histórico de la succión aplicada al suelo. Algunas comparaciones numérico-experimentales utilizando este marco elastoplástico se muestran en Rojas y cols. 2017.

Al incluir este marco elastoplástico en el modelo acoplado, es posible simular el comportamiento de los suelos expansivos bajo cualquier trayectoria de esfuerzos incluyendo el efecto del esfuerzo desviador.

De acuerdo con todo lo anterior, para simular el comportamiento del suelo en condiciones axisimétricas, el modelo requiere de siete parámetros: la pendiente de la superficie de falla en los ejes ( $p', q$ ) dada por la relación  $M=(6\text{sen}\varphi)/(3-\text{sen}\varphi)$ , los índices de compresión y de descarga-recarga  $\lambda$  y  $\kappa$ , la relación de Poisson  $\nu$  y los parámetros de forma de la superficie de fluencia  $a_1$ ,  $a_2$  y  $r$ . Todos estos parámetros se pueden obtener de una serie de 4 ensayos triaxiales drenados realizados sobre suelo saturado. Dos de estos ensayos se realizan sobre material normalmente consolidado y los otros dos en suelo preconsolidado. Adicionalmente se requiere de la distribución granulométrica y las curvas primarias de retención suelo-agua así como el estado inicial del suelo ( $e_0$ ,  $p_0^*$ ,  $\bar{p}_0$ ,  $q_0$ ,  $s_0$ ). Las curvas de retención primarias se pueden obtener por el método del papel filtro. Si el suelo es expansivo, adicionalmente se requiere las relaciones de vacíos máxima  $e_{max}$  y mínima  $e_{min}$  del material para determinar su densidad relativa.

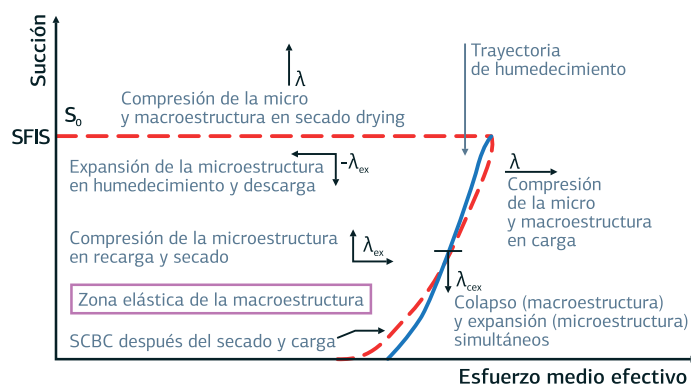


FIGURA 4. Marco elastoplástico para simular los fenómenos de colapso y expansión.

Los modelos para suelos no saturados que se han desarrollado hasta ahora no incluyen ninguna de las siguientes características del modelo propuesto:

- el esfuerzo de preconsolidación aparente del suelo durante el secado se incrementa en dos veces el valor del esfuerzo de succión.
- La superficie de fluencia puede tomar diversas formas.
- La superficie de fluencia en los ejes ( $p', q$ ) se endurece anisotrópicamente.
- La expansión toma en cuenta el efecto del esfuerzo desviador.
- El acoplamiento hidromecánico se realiza a través de la porosimetría del material y no requiere de parámetros adicionales ni calibración previa.

- La matriz de rigidez es simétrica.
- Sólo se requieren 4 ensayos triaxiales drenados en material saturado para determinar los parámetros del modelo mecánico.

## Comparaciones numérico-experimentales

Cui y Delage 1996, realizaron una serie de ensayos triaxiales a succión controlada utilizando el mismo material con que Fleureau y cols. 1993 obtuvieron los resultados mostrados en las Figs. 3 (A), (B) y (C). La Tabla 1 muestra los valores adoptados para los parámetros del modelo en base a los ensayos realizados sobre muestras saturadas. Las comparaciones numérico-experimentales para suelos no saturados se muestran en la Fig. 5.

TABLA 1. Parámetros del modelo para los ensayos reportados por Cui y Delage 1996.

Parámetro	$M$	$\lambda$	$\kappa$	$\nu$	$a_1$	$a_2$	$r$
Valor	1.35	-0.15	-0.025	0.25	2.0	2.0	0.5

Se realizaron también comparaciones numérico-experimentales para los ensayos de Futai y Almeida 2005 y Garakani y cols. 2015 con resultados similares. Sin embargo, por falta de espacio no se incluyen en este trabajo.

Resulta interesante preguntarse qué tanto influye el acoplamiento hidromecánico en la resistencia y las deformaciones volumétricas del material. La Fig. 6 muestra el comportamiento del modelo acoplado (A) y no acoplado (NA) para el caso de los ensayos de Futai y Almeida 2005. Se seleccionaron estos ensayos porque presentan las mayores deformaciones volumétricas y por lo tanto, el efecto hidromecánico es más pronunciado. En la Fig. 6 (A) se muestra cómo cambia la porosimetría inicial del suelo al término de un ensayo triaxial que mostró una deformación volumétrica cercana al 11%.

La muestra se ensayó con un esfuerzo confinante de 0.5 MPa y una succión de 0.3 MPa. Esta figura muestra la distribución de tamaños de poros inicial (I) y final (F), así como la distribución de sólidos (S). En esta figura se puede observar cómo los macroporos reducen su tamaño, mientras que los microporos muestran un aumento aparente en su distribución debido precisamente a la reducción del volumen de macroporos. Este comportamiento ha sido observado experimentalmente por Simms y Yanful 2001. La Fig. 6 (B) muestra cómo se incrementan los



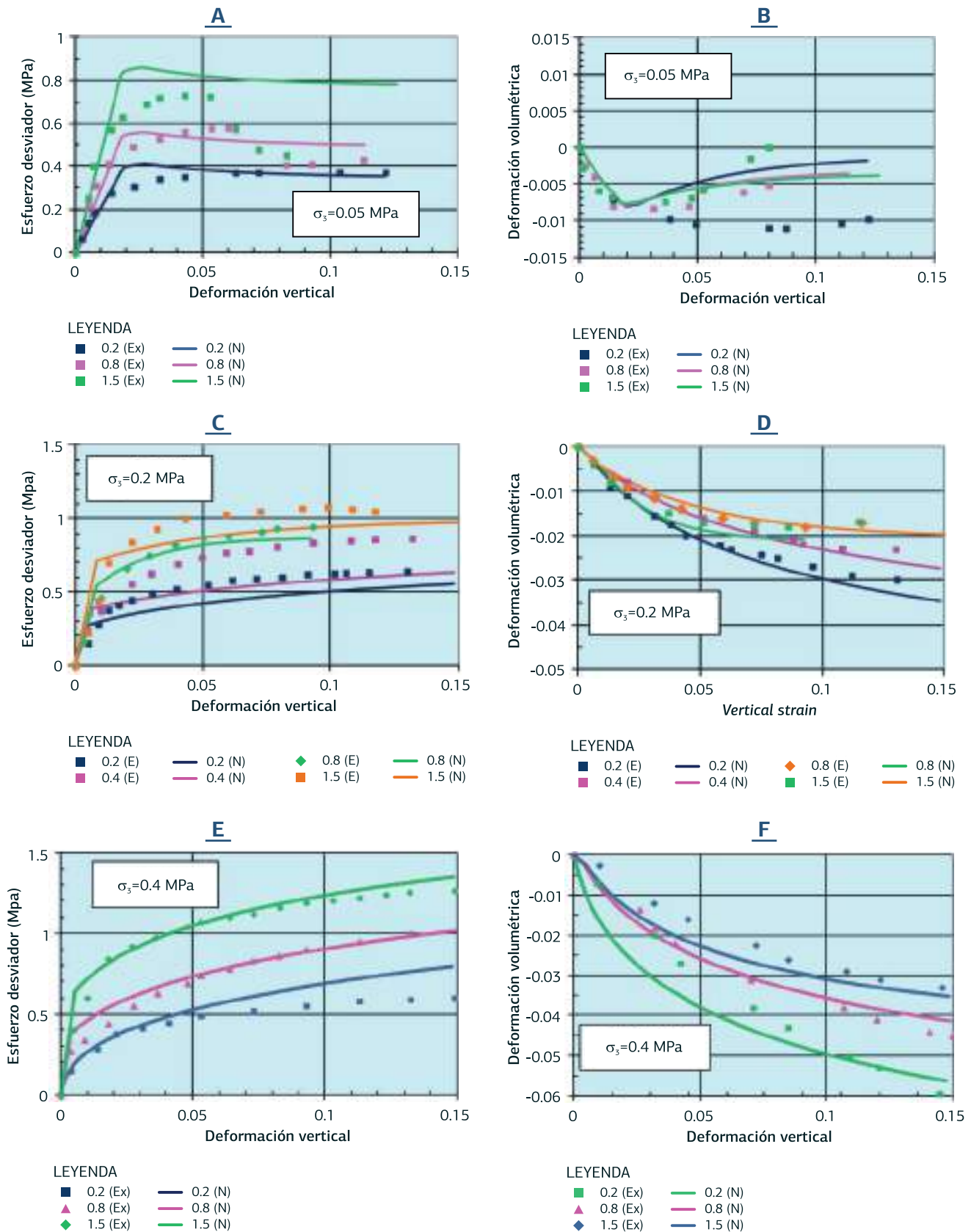


FIGURA 5. Comparaciones numérico-experimentales para los ensayos triaxiales de Cui y Delage 1996.

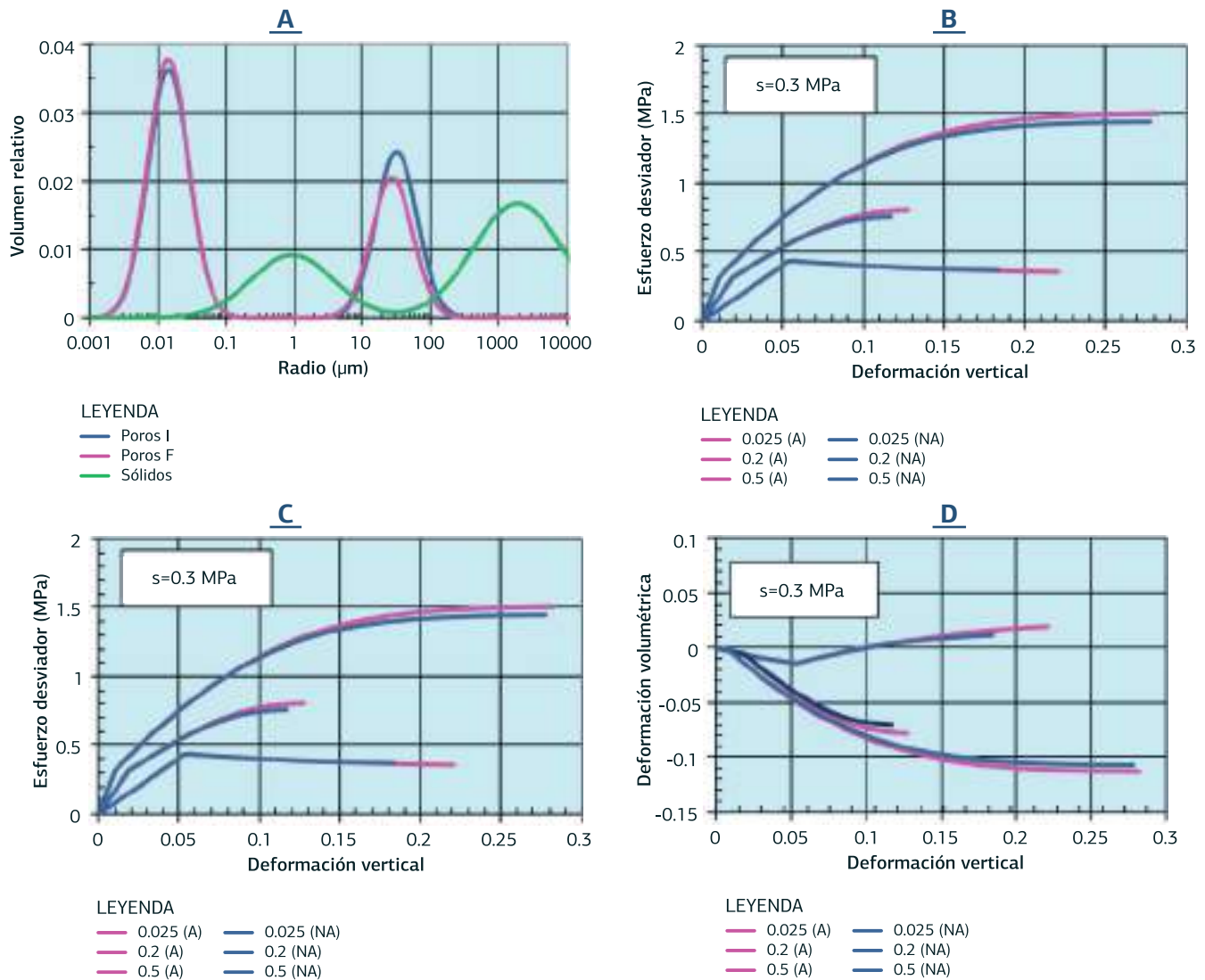


FIGURA 6. (A) Porosimetría inicial (I) y final (F), (B) valores iniciales y finales del parámetro  $\chi$  en secado, (C) curvas esfuerzo-deformación para diversos esfuerzos confinantes (MPa) y (D) deformaciones volumétricas del modelo acoplado (A) y no acoplado (NA).

valores del parámetro  $\chi$  cuando ocurre el acoplamiento hidromecánico.

Finalmente, las Figs. 6 (C) y (D) muestran cómo influye el acoplamiento en la resistencia y deformación volumétrica del suelo durante ensayos triaxiales. Se observa que, en el caso acoplado, la resistencia del material se incrementa conforme aumenta la deformación volumétrica, cuando ésta es de compresión. Por el contrario, si la deformación volumétrica es de dilatación, la resistencia disminuye. Esto se debe a que, entre mayor es la deformación volumétrica en compresión, mayor es el incremento del parámetro  $\chi$  y mayor el incremento de esfuerzos efectivos, lo cual provoca la expansión de la superficie de fluencia. Por lo tanto, la resistencia y las deformaciones

volumétricas en compresión se incrementan. Por el contrario, si el suelo dilata, los esfuerzos efectivos y la resistencia se reducen, debido a que la superficie de fluencia se contrae.

Como muestran las figuras 6 (C) y (D), el efecto del acoplamiento hidromecánico bajo carga creciente, es pequeño. Sin embargo, para el caso de ciclos amplios de carga-descarga o de humedecimiento-secado, este acoplamiento tendrá mayor influencia.

### Conclusiones

Se incluyeron los fenómenos de histéresis de las curvas de retención, endurecimiento por succión, acoplamiento hidromecánico, endurecimiento anisotrópico,

colapso y expansión en un modelo extendido del estado crítico. La inclusión de estos fenómenos resulta en un modelo general para suelos no saturados que presenta una matriz de rigidez simétrica, lo cual facilita su uso en los programas de elementos finitos.

La superficie de fluencia puede adoptar diferentes formas iniciales dependiendo del tipo de suelo. Esta forma se modifica conforme la succión se incrementa debido al fenómeno de endurecimiento por succión. Por ello, se adoptan dos familias de curvas que se intersecan en el punto del estado crítico. El acoplamiento hidromecánico se realiza a través de la porosimetría del material y no requiere de parámetros adicionales ni calibración previa. Todos los parámetros del modelo mecánico se obtienen a partir de cuatro ensayos triaxiales drenados realizados sobre material saturado. Algunas de estas características no las posee ningún modelo hasta ahora desarrollado. Aún así, su precisión es igual o mayor a la de otros modelos más complejos y que utilizan un mayor número de parámetros y calibraciones previas.

## RESUMEN CURRICULAR

EDUARDO ROJAS GONZÁLEZ: Ingeniero Civil, CENETI, México, 1980. Maestría y Doctorado en Mecánica de Suelos, Instituto de Mecánica de Grenoble, Francia, 1980-1984. Investigador Asociado "C", Instituto de Ingeniería, UNAM, 1984 -1996. Profesor-Investigador de tiempo completo UAQ, desde 1997. Investigador Nacional, SNI. Jefe del Departamento de Mecánica de Suelos de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1993 -1996. 11 Libros publicados, 32 Artículos en revistas internacionales con 217 citas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, E.E., Gens, A. y Josa, A. (1990). A constitutive model for partially saturated soils, *Geotechnique*, 40, 405-430.
- Alonso, E.E., Vaunat, J. y Gens, A. (1999). Modelling the mechanical behavior of expansive clays. *Engineering Geology*, 54, 173-183.
- Bishop, A.W. (1959). The principle of effective stress, *Teknisk Ukeblad*, 39, 859-863.
- Cunningham, M.R. y cols. (2003). The mechanical behavior of reconstituted unsaturated silty clay, *Geotechnique* 53: 183-194.
- Cui, Y. J. y Delage, P. (1996). Yielding and plastic behavior of an unsaturated compacted silt. *Geotechnique*, 46, 291-311.
- Fleureau, J.-M. y cols. (1993). Behavior of clayey soils on drying-wetting paths. *Canadian Geotechnical Journal* 30: 287-296.
- Futai, M.M. y Almeida, S.S. (2005). An experimental investigation of the mechanical behavior of an unsaturated gneiss residual soil. *Geotechnique*, 55, 201-213.
- Garakani, A. A., Haeri S.M., Khosravi, A. and Habibagahi, G. (2015). Hydro-mechanical behavior of undisturbed collapsible loessial soils under different stress state conditions. *Engineering Geology*, 195, 28-41.
- Juárez-Badillo, E. (1975). Constitutive relationships for soils, *Symposium on Recent Developments in the Analysis of Soil Behavior and their Application to Geotechnical Structures*: Universidad de New South Wales, Australia, 231-257.
- Khalili, N., Habte, M. A. y Zargarbashi S. (2008). A fully coupled flow deformation model for cyclic analysis of unsaturated soils including hydraulic and mechanical hysteresis, *Computers and Geotechnics*, 35, 872-889.
- Loret, B. y Khalili, N. (2002). Effective stress elastic-plastic model for unsaturated porous media. *Mechanics of Materials*, 34: 97-116.
- Ma, T. y cols. (2015). Hydraulic and mechanical behavior of unsaturated silt: experimental and theoretical characterization, *International Journal of Geomechanics*, 16, 1-13.
- Rojas, E. (2008a). Equivalent stress equation for unsaturated soils. Part I: Equivalent stress. *International Journal of Geomechanics*, 8, 285-290.
- Rojas, E. (2008b). Equivalent stress equation for unsaturated soils. Part II: Solid-porous model. *International Journal of Geomechanics*, 8, 291-299.
- Rojas, E., Chávez, O. y Arroyo, H. (2017). Modeling the behavior of expansive soils using effective stresses. *International Journal of Geomechanics*, 17(9):1-15.
- Schofield, A.N. y Wroth, C. P. (1968). *Critical State Soil Mechanics*, Londres, Reino Unido: Editorial McGraw Hill.
- Simms, P. H. y Yanful, E. K. (2001). Measurement and estimation of pore shrinkage and pore distribution in a clayey till during soil-water characteristic curve tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 741-754.
- Vaunat, J., Romero E. y Jommi, C (2000). An elastoplastic hydromechanical model for unsaturated soils. *Experimental Evidence and Theoretical Approaches in Unsaturated Soils*, 121-138, Rotterdam, Holanda, Editorial Balkema.

Wheeler, S. J. y Sivakumar, V. (1995). An elastoplastic critical state framework for unsaturated soil. *Géotechnique*, 45, 35-53.

Yao, Y., Tian Y. y Gao, Z. (2017). Anisotropic UH model for soils based on a simple transformed stress method.

*International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 41, 54-78.

Zhou A. y Sheng D. (2015). An advanced hydro-mechanical constitutive model for unsaturated soils with different initial densities, *Computers and Geotechnics*, 63, 46-66.





# Nuevas matemáticas para mapear redes ecológicas microbianas

# New mathematics for mapping microbial ecological networks

Marco Tulio Angulo, CONACyT - Instituto de Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de México

**RESUMEN.** Los microbios alojados en nuestro cuerpo y planeta proveen muchos servicios esenciales para la salud humana. Mapear las redes ecológicas subyacentes a estas comunidades microbianas es un paso necesario para poder predecir su comportamiento, abriendo la puerta para crear nuevos tratamientos para enfermedades humanas y muchas otras condiciones. Sin embargo, los algoritmos existentes para mapear estas redes ecológicas microbianas no han sido muy exitosos. Esto es principalmente debido a que requieren asumir un modelo dinámico poblacional particular para la comunidad –que nunca es conocido a-priori– y siempre arrojan una sola red ecológica como resultado de la inferencia, a pesar de que puede haber varias redes ecológicas que son consistentes con los datos disponibles. Para superar estos retos, aquí desarrollamos un nuevo algoritmo de inferencia matemáticamente riguroso que no requiere asumir ningún modelo poblacional y que infiere todas las redes ecológicas que son consistentes con los datos. Ilustramos nuestro algoritmo con datos simulados y validamos su desempeño usando datos experimentales. Argumentamos como el algoritmo propuesto puede ser un paso clave para modelar ecológicamente comunidades microbianas complejas como el microbiota intestinal humano.

**PALABRAS CLAVE:** comunidades microbianas; inferencia; redes ecológicas; teoría de sistemas.

**ABSTRACT.** *The microbes hosted in our body and on Earth provide many essential services for human well-being. Mapping the ecological networks underlying these microbial communities is a necessary step for predicting their behavior, opening the door to create new treatments for human diseases and many other conditions. However, the existing algorithms to map these networks have not been very successful. The limited success of these algorithms is because they require to assume a population dynamics model for the community —which is never a priori known—, and they always provide a single network as result of the inference, despite there might be several ecological networks that are consistent with the data. To overcome these two challenges, here we develop a new mathematically-rigorous inference algorithm that does not require assuming any population dynamics, and that infers all ecological networks that are consistent with the data. We illustrate our algorithm with simulated data and then validate its performance using experimental data. Our algorithm could be a pivotal step to ecologically model complex microbial communities such as the human gut microbiota.*

**KEYWORDS:** Ecological networks, inference, microbial communities, systems theory.

## Introducción

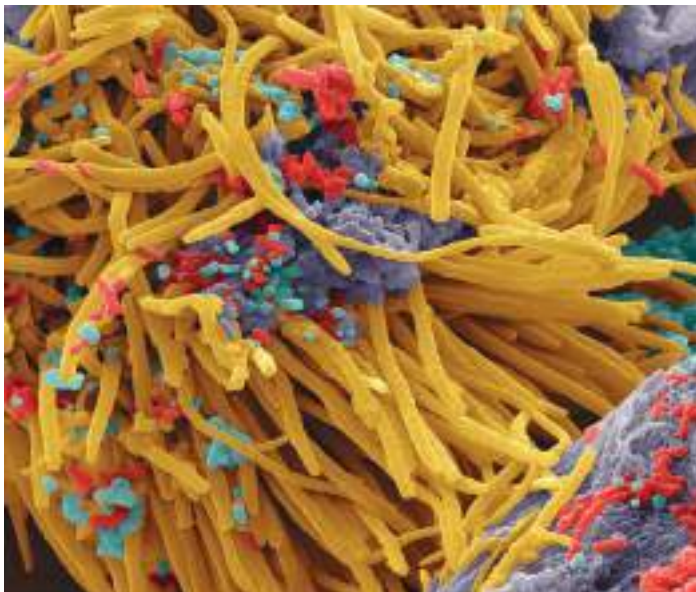
Los microbios alojados en nuestro cuerpo y planeta proveen nutrientes y muchos otros servicios que son indispensables para mantener la salud humana (Mueller & Sachs, 2015; Shreiner, Kao, & Young, 2015). Avances muy recientes en tecnologías de secuenciación de ADN han hecho posible comenzar a entender la composición y funciones metabólicas de muchas de estas comunidades microbianas (Turnbaugh, et al., 2007). Esto ha revelado las profundas consecuencias de alterarlas. Por ejemplo, alteraciones en el *microbiota intestinal* humano —el agregado de microorganismos que residen en nuestros intestinos— se relacionan no solo a enfermedades gastrointestinales, sino a condiciones tan divergentes como autismo, obesidad, y el desarrollo de nuestro sistema inmune (Dietert, 2016). Alteraciones en otras comunidades microbianas pueden contribuir a disminuir la productividad de cultivos agrícolas (Mueller & Sachs, 2015), o perturbar el clima al cambiar la tasa de secuestro de carbono en los océanos (Guidi, et al., 2016). Modificar el balance de especies<sup>1</sup> en una comunidad microbiana podría entonces ofrecer nuevas formas de tratar o prevenir enfermedades, incrementar la productividad de cultivos, o incluso crear fármacos y biocombustibles (Alivisatos, et al., 2015; Dubilier, McFall-Ngai, & Zhao, 2015). Sin embargo, antes de que la medicina y la bioingeniería puedan alcanzar estas metas, primero es necesario entender cómo las especies de una comunidad microbiana interactúan entre sí.

Mapear redes ecológicas de interacciones microbianas es un paso necesario para predecir el resultado de modificar a una comunidad (Widder, et al., 2016; Buffie, et al., 2015), o incluso para construir comunidades sintéticas que realicen funciones deseadas (Hudson, Anderson, Corbett, & Lamb, 2017). Una red ecológica es dirigida, ponderada y con signos, donde nodos representan especies y aristas interacciones ecológicas directas entre especies (e.g., depredador-presa, parasitismo, comensalismo, mutualismo, amensalismo o competencia). Enfatizamos que esta red ecológica es fundamentalmente distinta a redes

construidas a partir de correlaciones o co-ocurrencia de especies, que no son dirigidas y por tanto no codifican ninguna relación causal que permita predecir el comportamiento dinámico del ecosistema subyacente (Friedman & Alm, 2012). Desafortunadamente, a pesar de que el conocimiento sobre la composición y funciones de muchas comunidades microbianas ha avanzado enormemente, el entendimiento de la estructura de sus redes ecológicas subyacentes se ha rezagado (Faust & Raes, 2012).

Este rezago es debido, principalmente, a dos limitaciones fundamentales de los algoritmos existentes para inferir redes ecológicas microbianas a partir de *datos metagenómicos* (i.e., datos con la abundancia de especies de la comunidad en cierto instante de tiempo). Primero, los algoritmos de inferencia existentes requieren elegir a-priori un modelo parametrizado de la dinámica poblacional subyacente a la comunidad (Steinway, Biggs, Loughran Jr, Papin, & Albert, 2015; Bucci, et al., 2016; Cao, Gibson, Bashan, & Liu, 2017). Cualquier elección es siempre extremadamente difícil de justificar, debido a que las especies en una comunidad interactúan a través de tantos mecanismos que producen dinámicas muy diversas incluso a la escala de dos especies (Jost & Ellner, 2000). Críticamente, cualquier error entre el modelo elegido y la dinámica poblacional “real” de la comunidad puede generar errores de inferencia arbitrariamente grandes (Angulo, Moreno, Lippner, Barabási, & Liu, 2017). La segunda limitación es la poca *informatividad* de los datos metagenómicos (Cao, Gibson, Bashan, & Liu, 2017), originada por la estabilidad de muchas comunidades microbianas como el *microbiota intestinal humano* (Lozupone, Stombaugh, Gordon, Jansson, & Knight, 2012). Dicha estabilidad hace que los datos metagenómicos tiendan a capturar pequeñas variaciones con respecto a los equilibrios de la comunidad microbiana, disminuyendo su informatividad. La falta de informatividad implica que existen varias redes ecológicas que explican los datos metagenómicos disponibles. Todas estas redes son igualmente útiles, pues cada una de ellas codifica un posible comportamiento de la comunidad ante modificaciones. A pesar de esto, todos los algoritmos de inferencia existentes siempre arrojan solo una red ecológica, sin importar la informatividad de los datos. Es importante resaltar que la mayoría de los métodos de inferencia para sistemas dinámicos en general comparten estas mismas dos limitaciones (Ljung, 1998).

<sup>1</sup> Utilizamos el término “especie” en un contexto ecológico general: como un grupo de organismos adaptados a un conjunto particular de recursos en el ambiente. No representa necesariamente el rango taxonómico más bajo. De hecho, los microbios también podrían organizarse por cepas, géneros, o unidades taxonómicas operacionales.



FUENTE: <http://extrastory.cz/images/2016/04-duben/04-4-bacteria-mouth.jpg>



FUENTE: [https://media.npr.org/assets/img/2015/03/12/feces\\_wide-0aac9a2e67eb0eb36c446ad79ed80cd3d987c746.jpg?s=1400](https://media.npr.org/assets/img/2015/03/12/feces_wide-0aac9a2e67eb0eb36c446ad79ed80cd3d987c746.jpg?s=1400)

En este artículo desarrollamos un nuevo formalismo matemático para inferir redes ecológicas microbianas resolviendo las dos limitaciones fundamentales arriba mencionadas. En particular, construimos un algoritmo matemáticamente riguroso que permite: (I) inferir redes ecológicas sin necesidad de conocer la dinámica poblacional subyacente; (II) cuantificar la informatividad de los datos e inferir el conjunto de todas las redes ecológicas que son consistentes con los datos metagenómicos disponibles; y (III) utilizar datos metagenómicos tanto temporales como en estado estable para hacer la inferencia. El formalismo matemático que utilizamos generaliza nuestro trabajo reciente (Xiao, et al., 2017) en el punto (II), y también al utilizar datos temporales para realizar la inferencia. Ilustramos nuestro algoritmo usando datos en simulación y luego validamos su desempeño con datos experimentales. Terminamos

argumentando como la adopción y aplicación del algoritmo propuesto podría ser un paso clave para modelar ecológicamente comunidades microbianas complejas como el microbiota intestinal humano.

## Formulación del problema

La red ecológica  $\mathcal{G} = (X, E)$  de una comunidad microbiana de  $N$  especies consta de nodos  $X = \{1, \dots, N\}$  correspondientes a especies, y aristas  $(j \rightarrow i) \in E$  representando una interacción ecológica directa de la  $j$ -ésima especie en la  $i$ -ésima especie. Las interacciones de una red ecológica pueden ser de dos clases: inhibición (negativas) o promoción (positivas) de crecimiento. La red ecológica de una comunidad microbiana está codificada en su dinámica poblacional, que en general puede ser descrita por un conjunto de  $N$  ecuaciones diferenciales de la forma

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = x_i(t) f_i(x(t)), \quad i=1, \dots, N. \quad (1)$$

Aquí  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_N(t)) \in \mathbb{R}^N$  es un vector donde  $x_i(t)$  representa la abundancia absoluta de la  $i$ -ésima especie al tiempo  $t$ . Las funciones  $f_i: \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $i=1, \dots, N$ , determinan la dinámica poblacional de la comunidad, modelando las interacciones intra- y entre-especies. Estas interacciones pueden ocurrir a través de muy diversos mecanismos incluyendo alimentación cruzada, bacteriocinas, o intercambio de electrones, haciendo muy difícil saber la forma funcional adecuada para  $f_i$ . Por tanto, consideramos que las  $f_i$ 's son funciones meromórficas desconocidas (i.e., cocientes de funciones analíticas). De esta forma, nuestra única suposición sobre la estructura de la dinámica poblacional de la comunidad es la variable  $x_i$  que aparece factorizada en la Ec. (1). Esta suposición modela que una especie que se extingue no puede reaparecer, y se satisface cuando la comunidad microbiana no es sujeta a perturbaciones externas como migración o invasión.

Matemáticamente, las interacciones ecológicas directas entre las especies de la comunidad están descritas por la matriz Jacobiana  $J(x) \in \mathbb{R}^{N \times N}$  de la Ec. (1), con elementos  $J_{ij} = \partial f_i / \partial x_j$ . En particular, la clase de interacción ecológica (inhibición o promoción) está codificada por el patrón de signos  $S(x) = \text{sign} J(x) \in \{-1, 0, +1\}^{N \times N}$  con elementos  $s_{ij} = \text{sign}(J_{ij})$ . Esto ocurre debido a que la  $j$ -ésima especie promueve, inhibe, o no tiene efecto directo sobre el crecimiento de la  $i$ -ésima especie si y solo si  $J_{ij}(x) > 0$ ,  $J_{ij}(x) < 0$ , o  $J_{ij}(x) = 0$ , respectivamente.



Asumiremos que el patrón de signos  $S$  es constante, lo que implica que la clase de las interacciones ecológicas no cambia con el tiempo. Note, sin embargo, que la magnitud de  $J_{ij}(x)$  puede variar arbitrariamente e incluso depender de la abundancia de especies distintas a  $i$  y  $j$ . Esta suposición es muy débil en el sentido de que es satisfecha por la mayoría de las llamadas “respuestas funcionales” que caracterizan los mecanismos de interacción entre especies en modelos dinámicos poblacionales, como por ejemplo las respuestas funcionales Holling Tipo I y II, Crawley-Martin, entre otras (Xiao, et al., 2017).

Para inferir la red ecológica de una comunidad microbiana, consideramos que tenemos un conjunto  $\mathcal{D}$  de datos metagenómicos. Cada dato metagenómico es un vector  $y \in \mathbb{R}^N$  con la abundancia de cada especie en la comunidad en cierto instante de tiempo. A un dato metagenómico también le llamamos *muestra*. Los datos en  $\mathcal{D}$  pueden ser *temporales* o en *estado estable*. Los datos temporales son series de tiempo  $\{y(t) \in \mathbb{R}^N, t \in \{t_0, \dots, t_L\}\}$  tales que  $y(t)$  satisface la Ec. (1) para  $t \in \{t_0, \dots, t_L\}$ . Por ejemplo, series de tiempo con la respuesta temporal de la comunidad para distintas abundancias iniciales de especies (Fig. 1 A). Supondremos que estos datos temporales son muestreados con suficiente frecuencia para estimar razonablemente bien su derivada temporal  $\{\dot{y}(t), t \in \{t_0, \dots, t_L\}\}$ . Esto es posible, por ejemplo, si  $t_{k+1} - t_k$  es suficientemente pequeño, permitiendo ajustar una función continua  $\{\hat{y}(t), t \in [t_0, t_f]\}$  a la serie de tiempo tal que  $\dot{y}(t) \approx d\hat{y}(t)/dt$ . Los datos en estado estable son constantes  $\{y \in \mathbb{R}^N\}$  que corresponden a equilibrios no triviales de la Ec. (1), es decir, equilibrios donde al menos una especie está presente. Estos datos pueden representar la abundancia en estado estable de diferentes composiciones de especies de la misma comunidad microbiana (Fig. 2 A). Mapear la red ecológica de la comunidad consiste entonces en inferir el patrón de signos  $S$  a partir de datos metagenómicos  $\mathcal{D}$  dados, sin conocer cuál es la dinámica poblacional  $f_i$  de la comunidad.

## Resultados

### Mapeando redes ecológicas microbianas a partir de datos temporales

Para inferir el patrón de signos  $S_i = \text{sign}(J_i) \in \{-1, 0, 1\}^N$  de la  $i$ -ésima especie, considere el subconjunto  $\mathcal{D}_i \subseteq \mathcal{D}$  de todas las muestras en donde dicha especie está presente. Elija dos series de tiempo  $y(\cdot), z(\cdot) \in \mathcal{D}_i$  y sean

$y(\tau), z(\tau') \in \mathcal{D}_i$  dos muestras en instantes de tiempo  $\tau, \tau'$  (Fig. 1 A). Cuando se elige  $y=z$ , suponemos que  $\tau \neq \tau'$  de tal forma que  $y(\tau)$  y  $z(\tau')$  corresponden a distintas muestras de la misma serie de tiempo. Como ambas series de tiempo son soluciones de la Ec. (1) y tienen presente a la  $i$ -ésima especie, note que satisfacen  $\dot{y}_i(\tau)/y_i(\tau) - \dot{z}_i(\tau')/z_i(\tau') = f_i(y(\tau)) - f_i(z(\tau'))$ . Entonces, definiendo  $\beta_i(y(\tau), z(\tau')) := \dot{y}_i(\tau)/y_i(\tau) - \dot{z}_i(\tau')/z_i(\tau')$  y aplicando el Teorema del Valor Intermedio para funciones multi-dimensionales, podemos usar esta última expresión para obtener:

$$v_i(y(\tau), z(\tau')) \cdot [y(\tau) - z(\tau')] = \beta_i(y(\tau), z(\tau')), \quad \forall y(\tau), z(\tau') \in \mathcal{D}_i. \quad (2)$$

En esta ecuación, la notación “ $\cdot$ ” indica el producto interno entre vectores, y  $v_i(y, z) \in \mathbb{R}^N$  está definido como  $v_i(y, z) := \int_0^1 J_i(y + \sigma(z-y)) d\sigma$ . Aquí,  $J_i(x) = \partial f_i(x) / \partial x \in \mathbb{R}^N$  denota el  $i$ -ésimo renglón de la matriz  $J(x)$ . La Ec. (2) puede reescribirse de una manera más compacta como

$$v_i(y(\tau), z(\tau')) \cdot \delta_i(y(\tau), z(\tau')) = 1, \quad \forall y(\tau), z(\tau') \in \mathcal{D}_i, \quad (3)$$

donde hemos definido el vector  $\delta_i(y, z) := [y - z] / \beta_i(y, z)$ . Note que  $\delta_i(y, z)$  puede calcularse utilizando los datos  $\mathcal{D}_i$ .

La observación crucial que permite inferir la red ecológica microbiana es la siguiente: como por hipótesis el patrón de signos  $S$  del Jacobiano  $J(x)$  es constante, entonces el patrón de signos del vector  $v_i(y, z) = \int_0^1 J_i(y + \sigma(z-y)) d\sigma$  es el mismo para todo  $y, z \in \mathcal{D}_i$  y coincide con el patrón de signos  $S_i = \text{sign}(J_i)$  que buscamos inferir. Entonces, para inferir el patrón de signos  $S_i$ , para cada par  $y, z \in \mathcal{D}_i$  y su correspondiente  $\delta_i(y, z)$ , calculamos el hiperplano  $V_i(y, z)$  de todos los vectores  $\{v_i | v_i \in \mathbb{R}^N\}$  que satisfacen la Ec. (3). Cada uno de estos hiperplanos  $V_i(y, z)$  tiene asociado un conjunto de patrones de signo  $\mathcal{G}_i(y, z) \subseteq \{-1, 0, 1\}^N$  determinado por todos los ortantes de  $\mathbb{R}^N$  a los que pertenece. Este conjunto puede ser calculado resolviendo  $3^N$  programas lineales. Intersectando todos estos patrones de signo que han sido obtenidos, podemos calcular

$$\mathcal{G}_i^* = \bigcap_{y, z \in \mathcal{D}_i} \mathcal{G}_i(y, z) \quad (4)$$

El conjunto  $\mathcal{G}_i^*$  en esta ecuación constituye la base del algoritmo propuesto para inferir  $S_i$ , pues se calcula a partir de los datos  $\mathcal{D}_i$  y, debido a la observación hecha arriba, satisface que  $S_i \in \mathcal{G}_i^*$ .

Note que si  $\mathcal{G}_i^*$  tiene un solo patrón de signos, entonces  $S_i = \mathcal{G}_i^*$ . En tal caso, decimos que los datos  $\mathcal{D}_i$



son *totalmente informativos* para la  $i$ -ésima especie, pues ellos permiten inferir unívocamente su patrón de signos. Si el conjunto  $\mathcal{S}_i^*$  tiene más de un patrón de signos, el argumento presentado arriba prueba que todos ellos son consistentes con los datos  $\mathcal{D}_i$ . Esto tiene dos implicaciones. Primero que, en este último caso, los datos  $\mathcal{D}_i$  no son suficientemente informativos como para inferir unívocamente el patrón de signos  $S_i$  de la  $i$ -ésima especie. A pesar de esto, utilizando la Ec. (4) podemos calcular *todos* los patrones de signos que son consistentes con los datos  $\mathcal{D}_i$ . La segunda implicación es que la Ec. (4) infiere el patrón de signos bajo condiciones necesarias y suficientes de los datos  $\mathcal{D}_i$ . Es decir, si utilizando esta ecuación no es posible inferir unívocamente el patrón de signos usando  $\mathcal{D}_i$ , ningún otro algoritmo es capaz de hacerlo usando estos mismos datos.

El algoritmo de inferencia propuesto en este artículo se basa en representar la Ec. (4) a través de un histograma de la frecuencia  $\omega_{i,k}$  con la que cada patrón de signo  $k \in \{-1, 0, 1\}^N$  ocurre en el conjunto  $\{\mathcal{S}_i(y, z) | \forall y, z \in \mathcal{D}_i\}$ . Definiendo  $\omega_i^* := \max_k \omega_{i,k}$  y una *precisión*  $\varepsilon \in [0, 1]$ , el algoritmo propuesto construye el conjunto de patrones de signo  $\hat{\mathcal{S}}_i^\varepsilon$  para inferir  $S_i$  como

$$\hat{\mathcal{S}}_i^\varepsilon = \left\{ k \in \{-1, 0, 1\}^N \mid \omega_{i,k} \in [\omega_i^* - \varepsilon, \omega_i^*] \right\} \quad (5)$$

Note que si  $\hat{\mathcal{S}}_i^*$  tiene al menos un elemento entonces  $\hat{\mathcal{S}}_i^0 = \hat{\mathcal{S}}_i^*$ . Esto prueba que el algoritmo de la Ec. (5) también infiere todos los patrones de signos consistentes con  $\mathcal{D}_i$  bajo condiciones necesarias y suficientes.

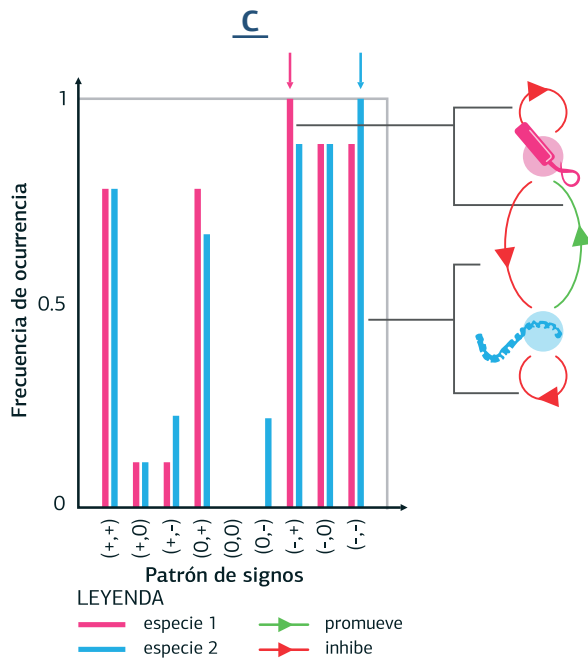
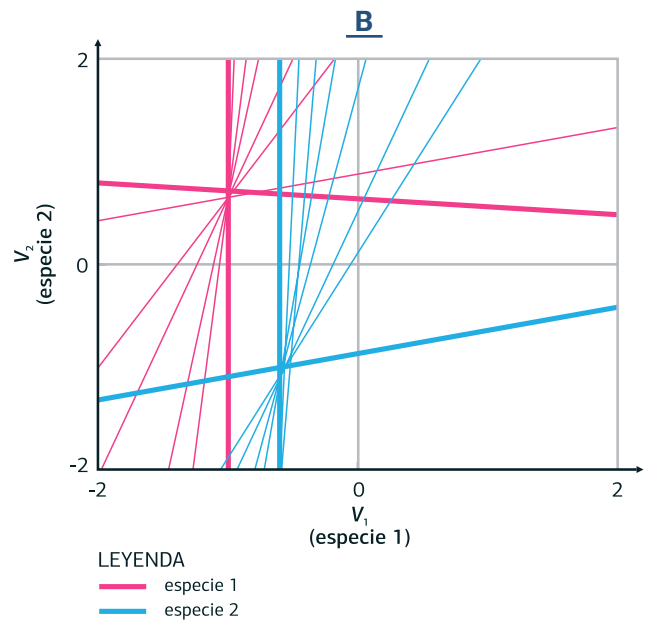
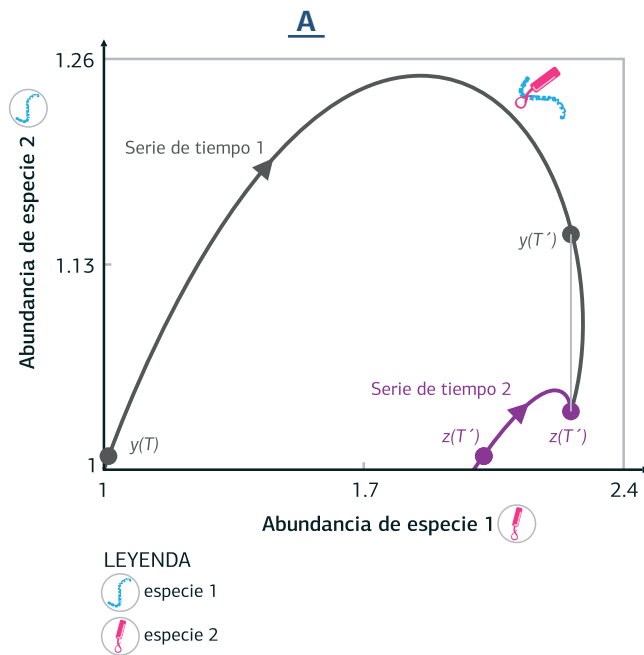
En la práctica, sin embargo, es posible que ruidos en la medición de los datos metagenómicos  $\mathcal{D}_i$  ocasionen que la intersección en la Ec. (4) sea vacía. En tal caso, el algoritmo de la Ec. (5) entrega como inferencia el conjunto de todos los patrones de signo con máxima frecuencia de ocurrencia. Esta formulación también permite cuantificar la *informatividad*  $I_{ij}^\varepsilon(\mathcal{D}_i) \in [0, 1]$  de los datos  $\mathcal{D}_i$  para inferir el signo  $s_{ij}$  de la interacción entre la especie  $j$  y la especie  $i$ . Definimos  $I_{ij}^\varepsilon(\mathcal{D}_i) := \omega_k^* / \max(1, \sigma_{ij}^\varepsilon)$ , donde  $\sigma_{ij}^\varepsilon$  es el número de cambios de signo en la  $j$ -ésima entrada entre todos los vectores en  $\hat{\mathcal{S}}_i^\varepsilon$ . Si los datos  $\mathcal{D}_i$  son totalmente informativos para la  $i$ -ésima especie, entonces  $\omega_i^* = 1$  y  $\hat{\mathcal{S}}_i^0$  contiene un solo elemento. En este caso,  $I_{ij}^0(\mathcal{D}_i) = 1$  para  $j = 1, \dots, N$  y la informatividad es máxima, coincidiendo con el hecho de que es posible inferir unívocamente  $s_{ij}$  para todo  $j$ . En otro caso, se satisface  $I_{ij}^\varepsilon(\mathcal{D}_i) \in [0, 1]$  con  $I_{ij}^\varepsilon(\mathcal{D}_i) < \omega_i^*$ . Entonces, al utilizar el algoritmo de la Ec. (5), la informatividad  $I_{ij}^\varepsilon(\mathcal{D}_i)$  es

una medida de la confianza en el patrón de signos inferido para la interacción  $j \rightarrow i$ .

Para ilustrar el funcionamiento del algoritmo de la Ec. (5), considere la comunidad microbiana con  $N=2$  especies de la Fig. 1. Como datos disponibles  $\mathcal{D}$ , utilizamos dos series de tiempo  $y(\cdot), z(\cdot)$  correspondientes a la respuesta de la comunidad a dos abundancias iniciales de especies (Fig. 1 A). Eligiendo una muestra en cada serie de tiempo  $y(\tau), z(\tau')$ , el vector  $y(\tau) - z(\tau')$  de la Ec. (2) es el vector que une estas dos muestras. El vector  $\delta_i(y(\tau), z(\tau'))$  de la Ec. (3) tiene esta misma orientación. Para  $N=2$ , el hiperplano  $V_i(y(\tau), z(\tau'))$  de todos los vectores que satisfacen la Ec. (3) es simplemente una línea (Fig. 1 B). Para cada par de muestras  $y(\tau), z(\tau')$  la línea  $V_i(y(\tau), z(\tau'))$  correspondiente tiene asociados un conjunto de patrones de signos  $S_i(y(\tau), z(\tau'))$ , que pueden ser contados en un histograma (Fig. 1 C). En este histograma, observamos que solo un patrón de signos tiene frecuencia de ocurrencia máxima  $\omega_{i,k} = 1$  para cada especie (marcas en Fig. 1 C), determinando correcta y unívocamente el patrón de signos  $S_i$  para las dos especies de la comunidad. De hecho,  $I_{ij}^0(\mathcal{D}_i) = 1$  para  $i, j = 1, 2$ . Por tanto, los datos  $\mathcal{D}$  son totalmente informativos para ambas especies en este ejemplo. De esta forma, el algoritmo de la Ec. (5) infiere unívocamente la red ecológica de la comunidad solo a partir de datos metagenómicos (panel derecho de la Fig. 1 C), sin conocer su dinámica poblacional.

### Mapeando redes ecológicas microbianas a partir de datos en estado estable

El algoritmo de la Ec. (5) aplica para cualquier conjunto de muestras, en particular, si son muestras en estado estable. De hecho, en este caso el algoritmo tiene una interpretación geométrica más simple (Xiao, et al., 2017). Para ver esto, note que para cualquiera par de muestras en estado estable  $y, z \in \mathcal{D}_i$ , se tiene  $\beta_i(y, z) = 0$ . Por lo tanto, la Ec. (2) implica que el conjunto de  $V_i(y, z)$ 's son simplemente hiperplanos ortogonales a los vectores  $y - z$ , y todos ellos intersectan al origen de  $\mathbb{R}^N$ . Como consecuencia, la intersección en la Ec. (4) puede resultar a lo menos en una línea. Esto implica que  $\hat{\mathcal{S}}_i^0$  en la Ec. (5) tiene a lo menos tres patrones de signo, i.e.,  $\hat{\mathcal{S}}_i^0 = \{-\hat{s}_i, 0, \hat{s}_i\}$  para algún  $\hat{s}_i \in \{-1, 0, 1\}^N$ . Como consecuencia,  $\mathcal{D}_i$  nunca puede ser totalmente informativo cuando solo contiene datos en estado estable. Para aumentar la informatividad de  $\mathcal{D}_i$  sería necesario agregar datos

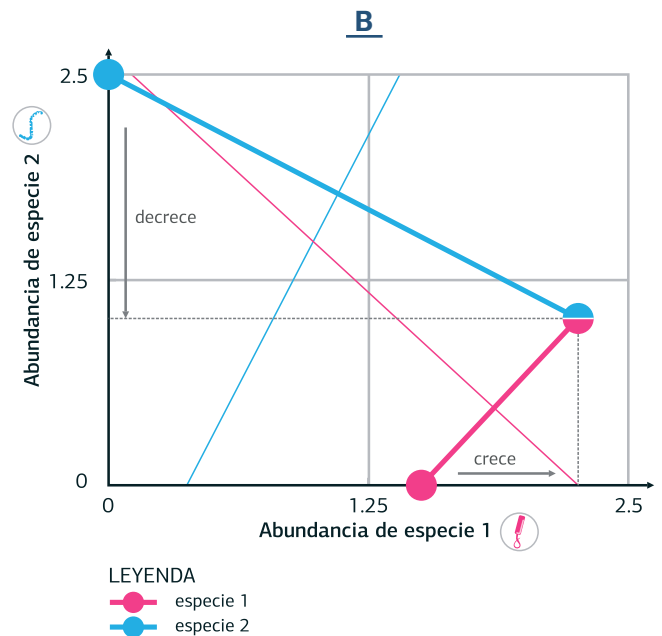
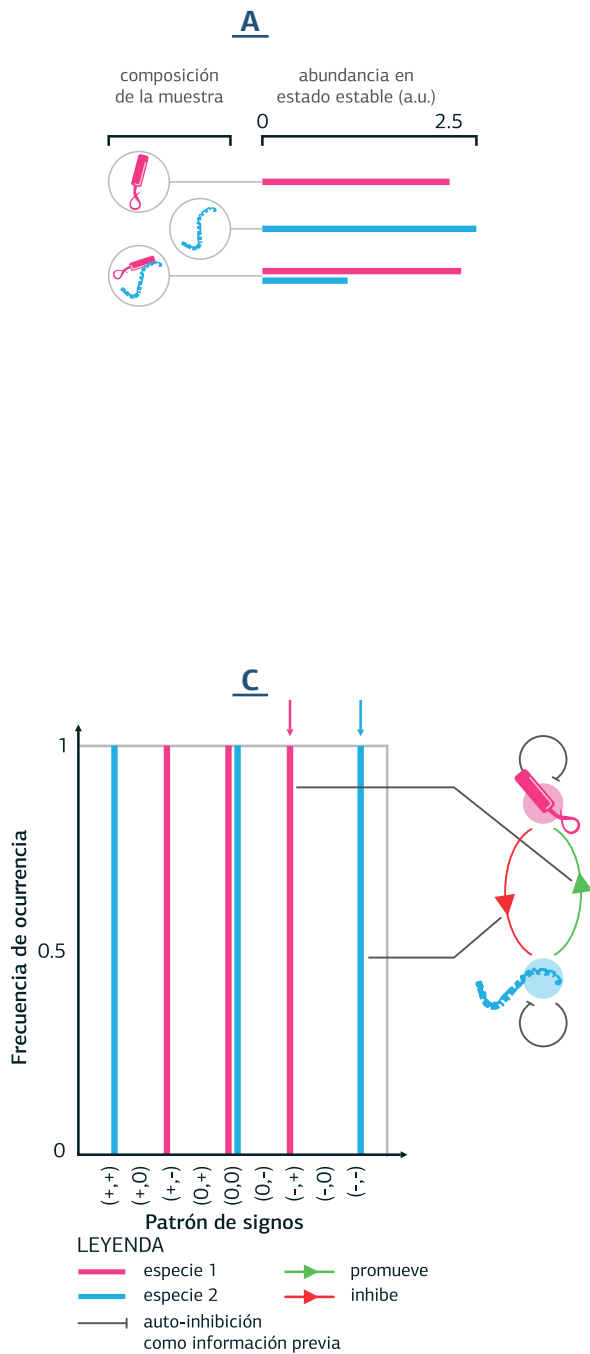


**FIGURA 1.** Mapeando redes microbianas usando datos temporales. Ilustramos nuestro método en una comunidad de  $N=2$  especies (rosa y azul) con dinámica poblacional  $\dot{x}_1 = x_1[1.5 - x_1 + 0.8x_2/(1+0.1x_2)]$ ,  $\dot{x}_2 = x_2[2.5 - 0.8x_1/(1+0.1x_1) - x_2]$ . De acuerdo a esta dinámica, el patrón de signos para cada especie es  $S_1=(-,+)$  y  $S_2=(-,-)$ .  
**A:** Dos series de tiempo obtenidas al integrar numéricamente la dinámica poblacional con dos condiciones iniciales distintas. Puntos señalan dos pares de muestras.  
**B:** Elijiendo aleatoriamente ocho pares de muestras sobre cada serie de tiempo, las líneas  $V_1$  (rosa) y  $V_2$  (azul) corresponden a todos los vectores que satisfacen la Ec. (3). Las líneas más gruesas corresponden a los pares de muestras señalados en el Panel A.  
**C:** Histograma con la frecuencia  $\omega_{i,k}$  con que cada patrón de signos ocurre en todas las líneas en el Panel B. Solo el patrón de signos  $\hat{G}_1^0=(-,+)$  tiene frecuencia de ocurrencia máxima para la especie 1, y el patrón de signos  $\hat{G}_2^0=(-,-)$  para la segunda especie. Ambos tienen un solo elemento y coinciden con el patrón de signos  $S_i$  respectivo a cada especie, permitiendo inferir la red ecológica mostrada a la derecha.

temporales, como mostramos en la sección anterior. Otra opción, sin embargo, es usar *información previa*. En particular, es razonable suponer que todas las interacciones inter-especie son inhibitorias  $s_{ij}=-1$ , pues esta condición frecuentemente garantiza la estabilidad de la comunidad (May, 1973). Usando esta información previa, es posible decidir cuál de los tres patrones de signo en  $\hat{G}_i^0$  es el correcto, infiriendo una única red ecológica microbiana. Utilizando  $\varepsilon > 0$

se puede ajustar la sensibilidad a errores de medición en los datos metagenómicos disponibles.

En la Fig. 2, ilustramos el funcionamiento del algoritmo de la Ec. (5) en una comunidad de dos especies con datos en estado estable. En este caso, los datos corresponden a la abundancia en estado estable de tres composiciones posibles de la comunidad: cuando las especies 1 o 2 crecen en monocultivo, y cuando ambas especies crecen en co-cultivo



**FIGURA 2.** Mapeando redes microbianas usando datos en estado estable. Ilustramos nuestro método con  $N=2$  especies (rosa y azul) y dinámica poblacional como en la Fig. 1.

**A:** Las muestras corresponden a la abundancia en estado estable para distintas composiciones de la comunidad. En este caso, tenemos tres muestras correspondientes a cada especie creciendo en monocultivo, y a ambas especies creciendo en co-cultivo.

**B:** Las tres muestras en estado estable corresponden a tres puntos en el plano, mostrados aquí como círculos. Las líneas gruesas corresponden a los vectores de la forma  $y-z$  que conectan las muestras. Las líneas delgadas  $V_1$  (rosa) y  $V_2$  (azul) corresponden a todos los vectores que satisfacen la Ec. (3) para cada especie.

**C:** Histograma con los patrones de signo correspondientes a  $V_1$  y  $V_2$ . Para cada especie, existen tres patrones de signos consistentes con los datos pues tienen frecuencia de ocurrencia máxima. Utilizar la información previa  $s_{ii}=-1$  permite decidir cuál de estos tres es el que realmente está presente en la comunidad (marcas en el histograma), infiriendo correctamente la red ecológica microbiana.

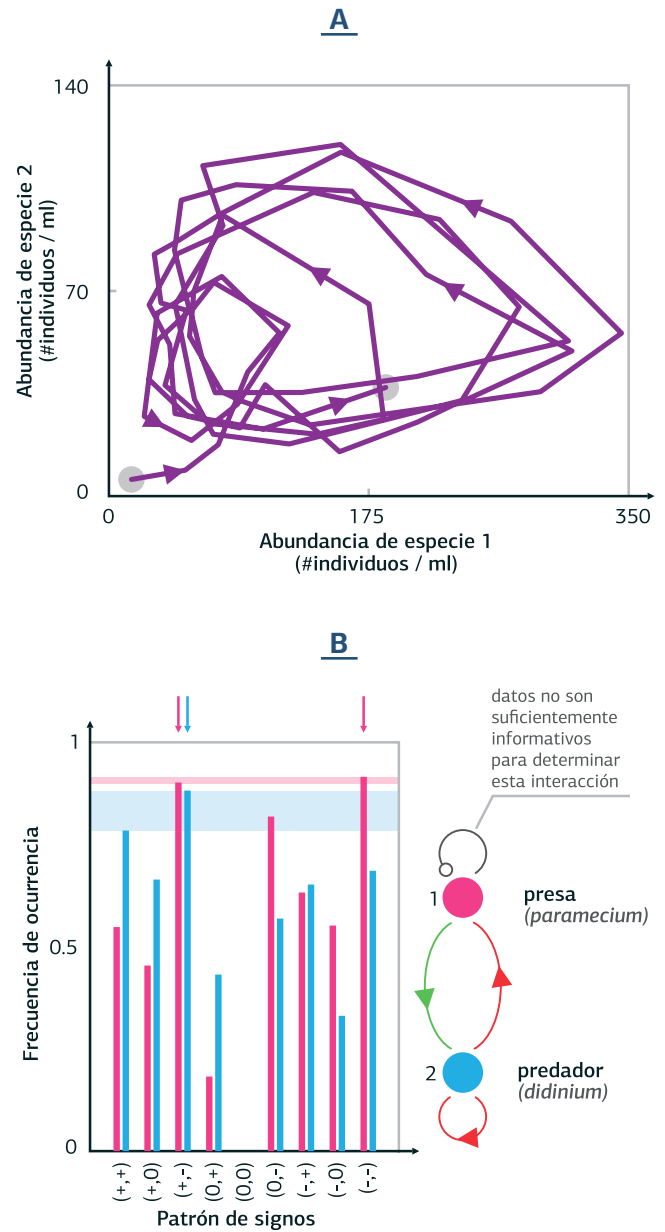
(Fig. 2 A). Estos tres datos en estado estable pueden graficarse en el plano, en donde los vectores de la forma  $y-z$  son rectas que conectan estos tres estados estables (Fig. 2 B). Como  $N=2$ , el hiperplano  $V_i(y,z)$  ortogonal a  $y-z$  es simplemente una línea, y por tanto a lo más podemos obtener una línea ortogonal  $V_1$  para la especie 1, y otra línea ortogonal  $V_2$  para la especie 2 (Fig. 2 B). Cada una de estas líneas  $V_i$  provee tres patrones de signo de la forma  $\hat{S}_i^0 = \{-\hat{s}_i, 0, \hat{s}_i\}$ .

Con base a la información previa  $s_{ii}=-1$  inferimos correcta y unívocamente el patrón de signos para ambas especies (Fig. 2 C). Nuestro algoritmo, a pesar de ser construido a partir de un formalismo puramente matemático, produce el mismo resultado que la siguiente observación empírica: como la abundancia en estado estable de la especie 1 es mayor en co-cultivo que en monocultivo, entonces la especie 2 debe promover el crecimiento de la especie 1 (Fig. 2 B).

Esto permite inferir la red ecológica cuando las muestras en estado estable difieren en solo una especie. En este sentido, nuestro formalismo permite extender esta observación empírica al caso general en donde las muestras en estado estable difieren en un número arbitrario de especies.

**Aplicación usando datos experimentales.**

Validamos el desempeño del algoritmo de la Ec. (5) para inferir la red ecológica de una comunidad microbiana de dos especies, *paramecium* y *didinium*, usando datos temporales de su abundancia. Los datos temporales son el resultado de un experimento en co-cultivo utilizando una solución con 0.5 g/l de Cerophyl (Jost & Ellner, 2000). Utilizamos una serie de tiempo con aproximadamente 70 muestras temporales tomadas con una frecuencia de 0.5 días, cada muestra con la cantidad de individuos de cada especie por mililitro de solución (Fig. 3 A). Para calcular la derivada temporal de esta serie de tiempo utilizamos interpolación por splines de tercer orden. Elegimos esta comunidad microbiana porque conocemos de antemano su red ecológica: *didinium* es predador de *paramecium*. Este hecho nos permite cuantificar el éxito de nuestro algoritmo para mapear redes ecológicas experimentales. Aplicando el algoritmo de la Ec. (5) con 70 pares de muestras elegidas al azar, obtenemos el histograma de la Fig. 3 B con la frecuencia de ocurrencia de cada patrón de signo. Con base a este histograma y eligiendo  $\epsilon=0.1$ , obtenemos  $\hat{G}_1^\epsilon=\{(+,-),(-,-)\}$  y  $\hat{G}_2^\epsilon=\{(+,-)\}$  (marcas rosa en Fig. 2 B). La informatividad de los datos es  $I_{11}^\epsilon=0.88/2=0.44$  y  $I_{12}^\epsilon=0.88$  para la primera especie, y  $I_{21}^\epsilon=I_{22}^\epsilon=0.87$ . Esto implica que el patrón de signos para la segunda especie es  $S_2=(+,-)$  con alta confiabilidad (0.87), identificando correctamente a *didinium* como predador (i.e., “+” indica que la especie 1 promueve su crecimiento, y “-” indica que la especie 2 no puede sobrevivir sin la especie 1). Para la primera especie, inferimos  $s_{12}=-1$  con alta confiabilidad (0.88), indicando que la especie 2 inhibe el crecimiento de la especie 1 (e.g., la especie 2 consume a la especie 1). Esto identifica a *paramecium* como la presa. Sin embargo, debido a que  $I_{11}^\epsilon=0.44$ , los datos no son suficientemente informativos para inferir únicamente el signo de  $s_{11}$ , pues  $\hat{G}_1^\epsilon=\{+,-\}$ . Esta falta de informatividad puede ocurrir porque el signo de esta interacción no es constante, debido a que esta especie exhibe crecimiento logístico. En todo caso, el algoritmo propuesto infiere correctamente la estructura



**FIGURA 3.** Inferencia usando datos temporales experimentales. **A:** Datos temporales experimentales de una comunidad con dos especies *paramecium* (especie 1) y *didinium* (especie 2) creciendo en co-cultivo. **B:** Histograma con la frecuencia de ocurrencia de cada patrón de signos obtenido al utilizar el algoritmo de la Ec. (5). Usando  $\epsilon=0.1$  encontramos  $\hat{G}_1^\epsilon=\{(+,-),(-,-)\}$  para la primera especie, pues dos patrones de signo tienen máxima frecuencia de ocurrencia con (marcas rosa). Para la segunda especie, encontramos  $\hat{G}_2^\epsilon=\{(+,-)\}$ . Esto permite inferir la red ecológica de la derecha, identificando a *paramecium* como presa y a *didinium* como predador, únicamente a partir de los datos. Con respecto a la interacción intra-especie de la primera especie, note que su signo no puede ser determinado con base a los datos disponibles.

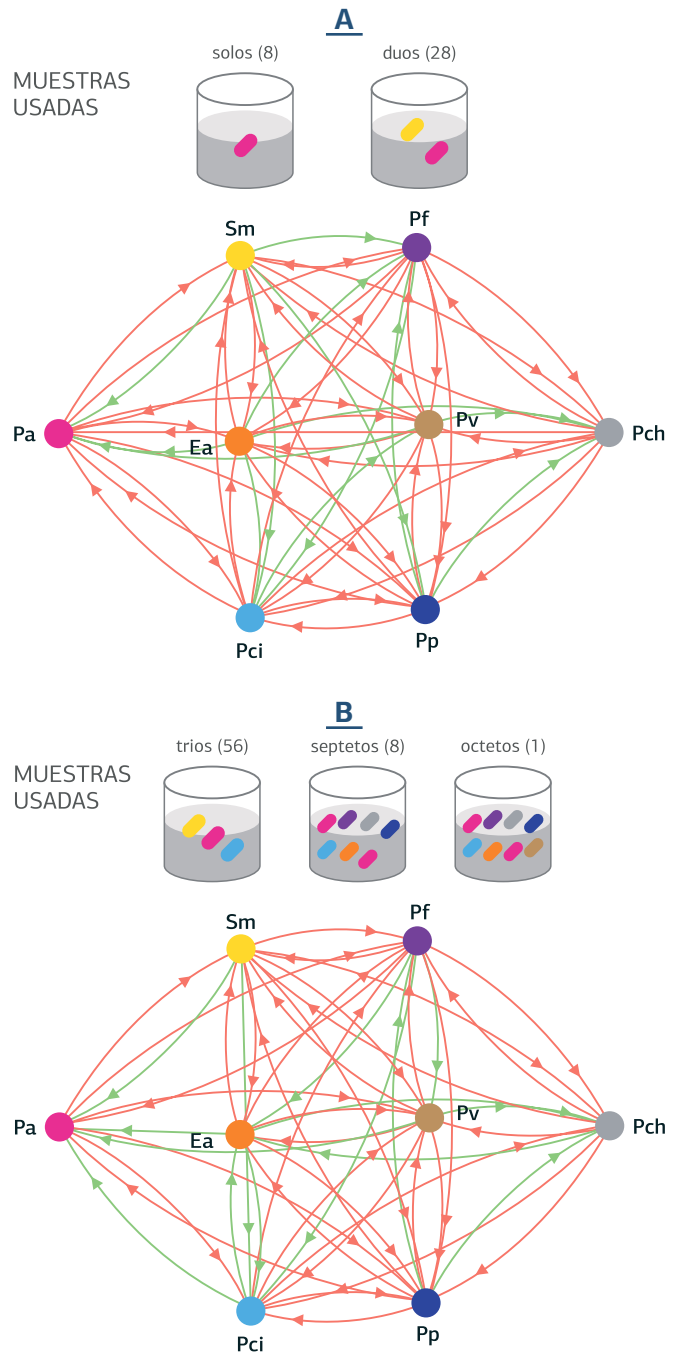


predador-presa de esta comunidad microbiana a partir de datos temporales experimentales.

También aplicamos nuestro método a una comunidad microbiana sintética con ocho especies bacterianas encontradas en el suelo (Friedman, Higgins, & Gore, 2017). Los datos experimentales consisten de muestras en estado estable de la comunidad con distintas composiciones (Fig. 4). Elegimos esta comunidad porque, de nuevo, podemos cuantificar el desempeño de nuestro algoritmo para mapear redes microbianas con datos experimentales. Para esto, primero consideramos 36 muestras que contienen 8 “solos” (abundancia en estado estable de las 8 especies creciendo en monocultivo), y 28 “duos” (abundancia en estado estable de todos los pares de 8 especies creciendo en co-cultivo). Como en este conjunto de datos siempre existen dos muestras que difieren solo en una especie para todas las especies, esto permite inferir fácilmente la red ecológica de la comunidad como discutimos con anterioridad (Fig. 4 A). Comparamos el desempeño de nuestro algoritmo al tratar de inferir esta misma red ecológica usando muestras con composiciones de especies más complejas. Enfatizamos que obtener muestras de solos y dúos es simplemente imposible en muchas comunidades microbianas como el microbiota humano, lo que motiva la construcción del algoritmo presentado en este trabajo. Aplicamos el algoritmo de la Ec. (5) a un conjunto de 65 muestras en estado estable con composición más complejas: tríos, septetos y octetos (Fig. 4B). El algoritmo propuesto infiere correctamente más del 78% de las interacciones ecológicas de la red. De hecho, las interacciones inferidas incorrectamente corresponden a interacciones “débiles” que son muy sensibles a ruido (Xiao, et al., 2017). El algoritmo propuesto tiene un desempeño similar en otras comunidades microbianas, y las redes inferidas pueden predecir la respuesta de comunidades experimentales a alteraciones de su composición (Xiao, et al., 2017).

**Discusión**

Inferir exitosamente la red ecológica de una comunidad microbiana permitirá predecir varios aspectos importantes de su comportamiento, incluyendo su estabilidad (Angulo & Slotine, 2017). También abrirá la puerta para diseñar sistemáticamente estrategias de control para restaurar comunidades microbianas alteradas (Angulo, Moog, & Liu, 2017). En particular,



**FIGURA 4.** Inferencia usando datos experimentales en estado estable. Consideramos una comunidad sintética con ocho especies bacterianas: Ea (*Enterobacter aerogenes*), Pa (*Pseudomonas aurantiaca*), Pch (*Pseudomonas chlororaphis*), Pci (*Pseudomonas citronellolis*), Pf (*Pseudomonas fluorescenc*), Pp (*Pseudomonas putida*), Pv (*Pseudomonas veronii*), Sm (*Serratia mercerscens*). **A:** Resultados de la inferencia utilizando muestras de “solos” (cada especie creciendo en monocultivo) y “duos” (todos los pares de especies creciendo en co-cultivo). **B:** Inferencia de la red ecológica microbiana utilizando el algoritmo de la Ec. (5) con  $\epsilon=0.1$  y muestras de tríos, septetos y octetos, que tienen composiciones más complejas.

note que la “universalidad dinámica” encontrada en el microbiota intestinal (Bashan, et al., 2016) hace posible combinar muestras de distintos humanos saludables. Por tanto, aplicando nuestro algoritmo a estas muestras permitiría inferir, por primera vez, la red ecológica “universal” del microbiota intestinal humano. Este hecho ilustra cómo la aplicación y adopción del algoritmo desarrollado en este trabajo podría contribuir significativamente a resolver algunos de los retos más difíciles que enfrenta nuestra sociedad, incluyendo enfermedades humanas complejas. Como aporte a las ciencias básicas y aplicadas, creamos un nuevo formalismo que muestra que matemáticas relativamente simples pueden ayudar a resolver problemas biológicos complejos relacionados a la salud humana.

El algoritmo propuesto puede extenderse al caso cuando distintas muestras corresponden a respuestas de la comunidad con distintos parámetros (e.g., distintos nutrientes), considerando estos parámetros como “nodos” adicionales sin dinámica. También es posible modificar el algoritmo para el caso cuando el patrón de signos no permanece constante y cuando el número de especies es muy grande, de manera completamente análoga a nuestros resultados recientes (Xiao, et al., 2017).

Existe una necesidad nacional de participar en el desarrollo de esta área emergente del control de comunidades microbianas, para poder cosechar sus potenciales frutos en salud y energías renovables. Cosechar estos beneficios requerirá una mayor interacción entre microbiólogos y matemáticos aplicados (teóricos de sistemas). Querétaro cuenta con una infraestructura científica y tecnológica sólida en estas dos disciplinas. Nuestro trabajo contribuye a convertir a este estado en líder nacional en esta área emergente de la ciencia.

## RESUMEN CURRICULAR

MARCO TULLIO ANGULO: Obtuvo el grado de Ingeniero en Automatización (con Honores) por la UAQ en 2017, y el grado de Doctor en Ingeniería (con Honores) por la UNAM en 2012. Posteriormente, realizó estudios de postdoctorado en el Center for Complex Networks Research (CCNR) en Northeastern University; y en Channing Division of Network Medicine, Harvard Medical School, en Boston, Estados Unidos. En 2016 regresó a México para integrarse al Instituto de Matemáticas de la UNAM, como Cátedra CONACyT, en

el Nodo Multidisciplinario de Matemáticas Aplicadas (NoMMA).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alivisatos, A. P., Blaser, M., Brodie, E. L., Chun, M., Dangl, J. L., Donohue, T. J., Jansson, J. K. (2015). A unified initiative to harness Earth's microbiomes. *Science*, 350(6260), 507--508.
- Angulo, M. T., & Slotine, J.-J. (2017). Qualitative stability of nonlinear networked systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 62(8), 4080--4085.
- Angulo, M. T., Moog, C. H., & Liu, Y.-Y. (2017). Controlling microbial communities: a theoretical framework. *bioRxiv*, 149765.
- Angulo, M. T., Moreno, J. A., Lippner, G., Barabási, A.-L., & Liu, Y.-Y. (2017). Fundamental limitations of network reconstruction from temporal data. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(127), 20160966.
- Bashan, A., Gibson, T. E., Friedman, J., Carey, V. J., Weiss, S. T., Hohmann, E. L., & Liu, Y.-Y. (2016). Universality of human microbial dynamics. *Nature*, 534(7606), 259.
- Bucci, V., Tzen, B., Li, N., Simmons, M., Tanoue, T., Bogart, E., ... Liu, Q. (2016). MDSINE: Microbial Dynamical Systems INference Engine for microbiome time-series analyses. *Genome biology*, 17(1), 121.
- Buffie, C. G., Bucci, V., Stein, R. R., McKenney, P. T., Ling, L., Gobourne, A., ... Viale, A. (2015). Precision microbiome reconstitution restores bile acid mediated resistance to *Clostridium difficile*. *Nature*, 517(7533).
- Cao, H.-T., Gibson, T. E., Bashan, A., & Liu, Y.-Y. (2017). Inferring human microbial dynamics from temporal metagenomics data: Pitfalls and lessons. *BioEssays*, 27 (2).
- Dietert, R. (2016). The Human Superorganism: How the Microbiome Is Revolutionizing the Pursuit of a Healthy Life.
- Dubilier, N., McFall-Ngai, M., & Zhao, L. (2015). Create a global microbiome effort. *Nature*, 525(7575), 631--634.
- Faust, K., & Raes, J. (2012). Microbial interactions: from networks to models. *Nature Reviews Microbiology*, 10(8), 538.
- Friedman, J., & Alm, E. J. (2012). Inferring correlation networks from genomic survey data. *PLoS computational biology*, 8(9), e1002687.
- Friedman, J., Higgins, L. M., & Gore, J. (2017). Community structure follows simple assembly rules in microbial microcosms. *Nature ecology & evolution*, 1(5), 0109.
- Guidi, L., Chaffron, S., Bittner, L., Eveillard, D., Larhlimi, A., Roux, S., ... R, J. (2016). Plankton networks driving carbon export in the oligotrophic ocean *Nature*, 532(7600), 365.

- Hudson, L. E., Anderson, S. E., Corbett, A. H., & Lamb, T. J. (2017). Gleaning insights from fecal microbiota transplantation and probiotic studies for the rational design of combination microbial therapies. *Clinical microbiology reviews*, 30(1), 191--231.
- Jost, C., & Ellner, S. P. (2000). Testing for predator dependence in predator-prey dynamics: a non-parametric approach. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 267(1453), 1611-1620.
- Ljung, L. (1998). *System identification*. Springer.
- Lozupone, C. A., Stombaugh, J. I., Gordon, J. I., Jansson, J. K., & Knight, R. (2012). Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. *Nature*, 489(7415), 220.
- May, R. M. (1973). Qualitative stability in model ecosystems. *Ecology*, 54(3), 638--641.
- Mueller, U., & Sachs, J. L. (2015). Engineering microbiomes to improve plant and animal health. *Trends in microbiology*, 23(10), 606--617.
- Shreiner, A. B., Kao, J. Y., & Young, a. V. (2015). The gut microbiome in health and in disease. *Current opinion in gastroenterology*, 31(1), 69.
- Steinway, S. N., Biggs, M. B., Loughran Jr, T. P., Papin, J. A., & Albert, R. (2015). Inference of network dynamics and metabolic interactions in the gut microbiome. *PLoS computational biology*, 11(6), e1004338.
- Turnbaugh, P. J., Ley, R. E., Hamady, M., Fraser-Liggett, C. M., Knight, R., & Gordon, J. I. (2007). The human microbiome project. *Nature*, 449(7164), 804.
- Widder, S., Allen, R. J., Pfeiffer, T., Curtis, T. P., Wiuf, C., Sloan, W. T., ... Shou, W. (2016). Challenges in microbial ecology: building predictive understanding of community function and dynamics. *The ISME journal*, 10(11), 2557.
- Xiao, Y., Angulo, M. T., Friedman, J., Waldor, M. K., Weiss, S. T., & Liu, Y.-Y. (2017). Mapping the ecological networks of microbial communities. *Nature Communications*, 8(1), 2042.



# El Ytlapial, corazón del “costumbre” y la memoria

# Ytlapial, heart of “tradition” and memory.

Dra. Mirtha Leonela Urbina Villagómez, FCPyS, UAQ

**RESUMEN.** En la vida ritual de los barrios otomíes de Querétaro destaca una práctica de larga duración histórica, a la que los nahuas prehispánicos nombraron *ytlapial*, que son las devociones familiares a los dioses y objetos sagrados heredados. Ya en la Colonia esta práctica se trasladó a las imágenes de los santos que entronaban en sus oratorios y capillas de indios. Estas devociones son sostenidas hasta hoy día por linajes nombrados “los herederos de las imágenes”, cuyas raíces se remontan a la colonia temprana. Los devotos apelan al “costumbre”, o bien a que “así lo dejaron los ancestros”. Pero podemos decir que es el ritual como forma repetitiva de preservar la memoria de sus ancestros, uniendo el pasado con el presente y el tiempo profano con el sagrado. El trasfondo del rito es sostener la reciprocidad y retribución entre el santo y sus deudores, así como entre el heredero y su ascendiente. Así, la comunidad ideal se gesta sin conflictos en el espacio y tiempo sagrados, mientras que en el mundo profano, la comunidad es presa de sus contradicciones sociales. Esta dualidad funciona como un *ethos* que orienta el tejido social de las comunidades otomíes. Este estudio me ha llevado a un tratamiento etnohistórico, basado tanto en la consulta de fuentes documentales históricas, como son los testamentos, como en el diario de campo y entrevistas no estructuradas a los portadores de la tradición y herederos de los santos.

**PALABRAS CLAVE:** el costumbre, devociones, herencia, rito.

**SUMMARY.** *There is a historically long-life tradition in the ritual-life from the otomí neighborhoods called ytlapial, name given by the prehispanic nahuas. Ytlapial is the devotion family pays to the gods and sacred inherited objects. During the period of the Spanish conquer, this practice was also moved to the images of saints that rose in indigenous chapels. This practice prevails to this day by lineages called “the heirs of the images,” whose roots can be traced back to the early colony. Devotees credit it to “tradition,” or to “that’s how the ancestors want it.” Yet, we could say that the ritual is a way of preserving their ancestors’ memory by means of repetition, linking the past to the present and the profane and the divine time. The background to this rite is to maintain the reciprocity and retribution from the worshippers to their saints, as well as the relationship the heir has to their ancestry. This way, an ideal community is given without conflicts in the sacred time and space; while in the profane world, the community is subdued to its social contradictions. This dualism functions as ethos, giving meaning to the otomí social fabric. This study has taken me to an ethnohistorical approach, and to refer from historical documentary sources, such as wills and testaments, to a field diary and surveys to the tradition carriers and saints heirs.*

**KEYWORDS:** *tradition, devotions, legacy, rite.*



Un acercamiento a la vida ritual de los otomíes nos permite observar la larga duración de sus devociones a las imágenes de los santos que entronan en: sus altares familiares, en sus capillas de indios y en los nichos de sus barrios. Dichas devociones son sostenidas en el pueblo de San Pedro de la Cañada, por linajes familiares nombrados “los herederos de las imágenes”, cuyas raíces se remontan a la colonia temprana. Para dar razón de ello apelan al “costumbre”, o bien simplemente a que “así lo dejaron los ancestros”. En este trabajo busco mostrar que el corazón o “núcleo duro” (López, 2001: 47) del costumbre y de la memoria es el nombrado entre los mexicanos como *Ytlapial*, cuya práctica se prolongó durante el periodo colonial entre los otomíes con la “custodia y veneración que yo heredo” de los santos de devoción familiar. Cuando López Austin formula el concepto teórico de “núcleo duro” lo refiere al conjunto de elementos y/o esquemas de una cosmovisión que tienen una gran resistencia al cambio histórico, y cuyo papel es estructurar y dar sentido al resto de la cosmovisión.

Este estudio se limita a los barrios de la ciudad de Querétaro y de San Pedro de la Cañada. Su larga duración histórica supone un abordaje etnohistórico, basado en el diario de campo y entrevistas no estructuradas a los herederos de la tradición y en la consulta de fuentes documentales históricas, hoy resguardadas en el Archivo Histórico de Querétaro (AHQ) y el Archivo del Poder Judicial del Estado de Querétaro (AHPJQ). En su mayoría se trata de testamentos, codicilos, donaciones, regularizaciones, transacciones y disputas de tierras.<sup>1</sup>

### **Ytlapial: “Custodia y veneración que yo heredo”.**

En la vida ritual de los barrios otomíes destaca una práctica de larga duración histórica, a la que los nahuas prehispánicos nombraron *ytlapial* o *tlapialli*, que son las devociones familiares a los dioses y objetos sagrados heredados. En 1629, Ruíz de Alarcón (1988) registró la existencia de unos cestoncillos o *chicubites*, que en mexicano nombraban *Ytlapial* o *Tlapialli* y que utilizaban en sus cultos familiares. Cuando un viejo, cabeza de linaje,

a tomado por abogado al *ololiuhqui* o al peyote, le hacen el cestoncillo el mas curioso que pueden, labrados, vestidos de niñas, y otras cosas de este tono, y tiesse aquello en tanta custodia y veneración que nadie se atreve a abrir la petaquilla, y mucho menos a la ofrenda que esta dentro, ni al *ololiuhqui*, peyote o idolo, aunque a los idolos veneran mucho más”. Los indios ocultaban dichos cestoncillos en lugares donde no pudieran ser hallados, y ocultaban “como en el Piru sus ídolos que llaman Huacas y los cuerpos de sus antepassados que tambien los adoran” en “covachas y debaxo de tierra (55).

Algunos los ocultaban dentro de cajas “por mas custodia y veneración, especialmente, quando tienen algún ydolillo a quien atribuyen aumentar la hazienda; y si lo atribuyen el aumento del mayz, trigo y otras semillas, lo tienen dentro las troxes que ellos llaman Cuezomatl” (56).<sup>2</sup> En sentido estricto, el término *Ytlapial* designaba a los objetos sagrados que guardaban en los cestoncillos y que eran legados. Los herederos del mismo quedaban obligados o comprometidos a su guarda, sin que ninguno se atreviera a descuidarlo. Por ello, la cosa legada era una cosa “vinculada” (López: 23). Cuando dicha generación se acababa, ninguno otro se atrevía a mudarlos de lugar donde lo tuvieron y dejaron los dueños originarios y herederos. Alarcón narra que habiendo averiguado que una india de Cuatlaccochtitlam tenía un cestoncillo:

sin que ella lo imaginasse la cogi en la iglesia para hazerle confessar el delito, y viendo que negaba la lleve a su casa, y entrando en el oratorio hize buscar el cestoncillo, y en el oratorio estaba ya todo por el mucho tiempo que las esteras estaban hechas tierra, y las imágenes casi de todo punto tenían perdidos los colores, y nadie se avia atrevido a mover ni tocar cosa alguna de las que allí avia, por estar en el dicho oratorio la petaquilla, la cual hallamos sobre una estera que el altar del

2 Un testimonio al respecto es el proceso al indio tarasco Juan Diego, de Teremendo, Michoacán. En 1702 por el Juez eclesiástico por ocultar un ídolo en su casa, en una caja pintada que servía como altar de unos santos que colgaban de un petate (un Santo Crucifijo y un Señor San José), y donde resguardaba “papeles del pueblo”. Su esposa le escuchó decir que “le ayudaba”. Fue condenado a servir por tres años en el hospital y a recibir públicamente cincuenta azotes en el cementerio del pueblo, ante la presencia de la justicia y a voz del pregonero sobre sus delitos. Ante todo el concurso, el ídolo fue molido por el fiscal de pueblo en una piedra grande. El cura arrojó los polvos en un pozo de diez estados de hondo. Archivo Casa Morelos, Fondo Diocesano, Justicia, Proceso Criminal, Expediente 21, Contra Juan Diego por idolatría, 14fs.

1 Al respecto, consúltese el relevante y acucioso trabajo de documentación de Jiménez Gómez (2010) sobre las prácticas notariales de los indios otomíes en Querétaro.

oratorio tenia por cielo... Preguntada la dicha india, por que y para que tenia aquello alli, respondió Amonotripiál can can ypani nehoc: quiere decir: no me pertenece por herencia, sino que lo halle aqui quando entre a vivir en esta casa” (51).

La india insistió en que no había declarado su existencia porque “no era cosa que yo heredo” (52). Ruiz Alarcón menciona también el caso del indio Miguel Bernardino, quien tenía cinco ídolos, pero solo uno era de su herencia, “que es lo que ellos llaman ytlapial, y los quatro los tenia en guarda, pero del suyo tenia creydo que aumentaba las cosechas” (57). Ya en la Colonia esta práctica se trasladó a las imágenes de los santos de devoción particular, es decir, sus nuevos dioses entronaron sus oratorios, ahora nombrados *santocalli* o *santocale* (español nahuatlizado). Los oratorios no necesariamente eran capillas familiares, podían ser habitaciones colectivas con un altar o mesa. Los otomíes formaron una organización compleja en torno a éstos, con “relaciones más allá de las de parentesco consanguíneo o espiritual”, que no han de confundirse con las hermandades ni mayordomías, que gozaban de mayor alcance económico y político (Dow, 1974: 128-142).

### Las imágenes que yo lego para “acercar mi devoción”.

Los otomíes preservaron el sistema de legado o herencia de las imágenes sagradas, a fin de garantizar su “custodia” y “veneración”. La primera referencia sobre la práctica otomí de heredar las imágenes de la devoción en Querétaro está en el testamento de Francisco Martín, vecino de San Pedro de la Cañada, del 16 de marzo de 1667.<sup>3</sup> Francisco era hijo legítimo de los finados Juan de León y de Angelina María Edeni, también naturales de San Pedro. Los bienes del “tronco” no estaban divididos formalmente, pero reconoció la heredad a los hijas de su finada hermana Sesilia Luisa,<sup>4</sup> como herederas forzosas. Heredó a cada uno de sus cuatro hijos 15.5 varas de tierra “en esta casa y guerta que linda por el levante con tierras de Lucas Martín y al poniente linda con tierras de Joseph Rodríguez y linda por el sur con el río y linda por el norte con el camino real”. También les repartió dos pedazos de tierra pedregosos. Pero Francisco

les heredó también árboles de: aguacate, nuez, duraznos, higueras y magueyes a sus hijos y esposa, algunos para su disfrute personal, y otros para el cuidado de la virgen y rezos por su alma, los cuales parecen no depender de la tierra heredada:

Yten. Y declaro que les dejo a los dichos mis hijos quatro árboles de aguacate para que quiden a la virgen y para que le manden desir una misa resada por el alma de mi cuñado Francisco Martín que así es mi voluntad.

Yten. Y declaro que a mi yerno Joseph Antonio le dejo un árbol de aguacate y una nuez, y Sebastian Juan tiene un arvol de aguacate y dos arboles de nuez, y Pedro Martín otro árbol de aguacate y un árbol de nuez y un árbol de durasno y otro peralito y María tiene un árbol de aguacate y Francisco Martín tiene un árbol de aguacate y tres durasnos y tres yguera, Ysavel tiene un árbol de aguacate tres durasnos y siete ygueras y dos aguacates le dejo a mi hijo Francisco Martín para que aga bien por mi alma.

El primer registro de legado de imágenes en Santiago de Querétaro data el 13 de mayo de 1694, cuando dictó su testamento Pedro de Juárez,<sup>5</sup> cófrade de San Antonio y de San Benito de Palermo, y de San Nicolás, en cuya capilla pidió ser enterrado. Pedro heredó a sus hijos una Virgen de la Limpia Concepción y un “San Crucifijo” que recibió como herencia de sus padres y que las tenía en resguardo su tío. Otro registro nos lleva a San Francisco Galileo, donde Marcos de los Ángeles testó el 22 de junio de 1747,<sup>6</sup> dejando a su hijo Leonicio de los Anxeles dos imágenes “de bulto”: San Francisco y Nuestra Señora de la Concepción “para que le sirva y tenga por su devocion como lo he hecho”. Pero Pedro tenía muchas imágenes más. A su hija María de la Encarnación heredó: un Jesús de Nazareno, un San Andrés y a Nuestra Señora de San Juan. Su nieta María Encarnación recibió otras tres: Señor crucificado, San Isidro y Señora Santana. Y su hija Josepa María recibió a: San Antonio, San Vicente Ferrer y San Pedro. Para el siglo XVII ya hablaban de imágenes legadas por ancestros abuelos. En fechas más tardías se siguieron construyendo capillas. En 1813, María de la Concepción, viuda de Gregorio Morales, del barrio de San Sebastián, legó igualmente una capilla que hizo su hijo Pablo Cassimiro,

<sup>3</sup> AHQ, Judicial, Civil, legajo 238, 1719, fs. 8v.-10r.

<sup>4</sup> AHQ, Judicial, Civil, legajo 183, 1777, s/n fs.

<sup>5</sup> AHQ, Judicial, Civil, legajo 245, 1712, fs. 4f-5v.

<sup>6</sup> AHQ, Judicial, Civil, legajo 183, 1785, fs. 34r-36r.

la cual albergaba un San Antonio de bulto y otro de lienzo, un San Martín, un Santo Cristo, un San Francisco de Paula y un San Miguel con una “Cruz de ánimas”.<sup>7</sup>

### Vivir en común y en “conformidad”.

Frecuentemente las heredades se mantenían unidas, lo cual indica la presencia de usos consuetudinarios *de facto*, que contrastaban con el régimen de la propiedad privada *de iure*. El 22 de agosto de 1777, en San Pedro La Cañada, testó la india Catalina María.<sup>8</sup> Catalina contrajo dos nupcias. Con su primer esposo, Nicolás de Santiago, tuvo a Francisco Martín. Y con el segundo, Pascual Ramírez, parió a Diego Martín, Joseph Alonso e Isidra Phelipa. Al momento de testar ya había fallecido esta última, pero le sobrevivió su nieto José, de su matrimonio con Miguel Marcos, por lo que también era su heredero forzoso. La heredad se mantenía *in sólido*, pues Catalina tenía la posesión de toda la herencia de su bisabuelo Pedro Martín. Es por ello que reconoció también a sus hermanos Phelipe de Santiago y Pedro Martín. Catalina también preservaba las imágenes de bulto que recibió de su bisabuelo, así que dispuso fueran servidas en común por sus herederos: San José, San Matías, San Jorge, Jesús de Nazareno y Santa Ifigenia. Otro caso relativo es del 25 de mayo de 1795, cuando Santiago de la Cruz testó ante el escribano de los naturales en su morada en el barrio de San Antonio. Pero el acto testamentario se realizó con la presencia y anuencia de “todos sus hijos y sobrinas y testigos devidos y parientes”. Los interesados fueron muchos: sus seis hijos ya casados, las sobrinas de sus dos finadas hermanas. Sus hermanos Antonio de Santiago y María Francisca Teresa habían recibido tierras en vida de sus padres. Otro estaba ausente desde 1750. La presencia de todos se debía a que “no esta la tierra repartida es de común para que vivan todos sin amallorarse hunos á otros sino en conformidad y con derecho de agua dicha tierra y desta deveran mis hijos darles á mis sobrinas referidas en donde vivan y dexo por mis alvaseas á José Gregorio y a Pedro Dionisio, a José Miguel para que cuiden en compañía de sus hermandad de todo lo que dexo sin que sea mallor e ninguno, es mi voluntad”. Y aclaró que otro pedazo de tierra que tenía enfrente de su vivienda lo

había comprado, por lo que no tenían nada que pedir sobre él sus sobrinas.

El patrón de herencia es heredar por partes iguales para vivir “en conformidad”, tanto a hijos varones como a mujeres.<sup>9</sup> A la esposa se hereda directamente o se hereda a otros, para que cuiden de ella hasta su muerte. Cuando los hijos ya recibieron un legado en vida, se dice que están “emancipados”, por lo que el testador tiene libertad de decidir a quién heredar. No sólo se hereda a los hijos, como herederos legítimos o forzosos, también se incluyen a los nietos -preferentemente cuando sus padres han muerto- o a sobrinos e hijos adoptivos que son recompensados por su cuidado, amor y fidelidad durante la necesidad, la vejez y la enfermedad. El 19 de junio de 1798,<sup>10</sup> estando moribunda por un accidente, Rosa María, india de San Pedro de la Cañada, viuda de Guillermo Martín, por no tener herederos testó ante el Escribano de la República Phelipe de Santiago San Luiz en favor de sus sobrinos don Francisco Martín López y don José Faustino López y su sobrina María Antonia, pero dejó también un terreno con derecho de agua cerca de la Ciénega a Phelipe de Santiago a quien había criado desde niño. No obstante, Phelipe murió el 17 de julio de 1811 y el terreno pasó a Manuela Josefa y a Antonio Felipe de Jesús como sus herederos legítimos. Después se menciona a José Ramón y Pedro Trinidad como coherederos de Rosa María de un terreno. Curiosamente, se trata de un testimonio “de obligación” ante el escribano de la República de Naturales, de que “cada y cuando se ofrecieron los servicios constumbrado (sic) en el oratorio y santos de devoción y con misas y como también de difuntos, entre todos que se haga cumplimiento y se obligaron, de por sí”.

También es de destacar que un pariente podía heredar cuando había apoyado en la defensa de un bien específico. Por ejemplo, Francisco Martín, del barrio de San Antonio de Padua, heredó una suerte de tierra en San Juanico que lindaba con una de los “pescadores”, a su yerno Blas Santiago, por haber sido el único que le ayudó a defenderla cuando el comisario don Phelipe de las Casas, presbítero y juez eclesiástico, quiso desposeer de sus tierras a

7 AHPJQ, Fondo Virreinato, Civil, caja 6, expediente 05c184, 1813.

8 AHQ, Judicial, Civil, legajo 184, 1777.

9 Es posible observar que los testamentos omiten los apellidos para el sexo femenino (hijas, esposas, testadoras), y que ocurre una mutación en los nombres, por ejemplo, a la larga, “Martín” como segundo nombre pasó a ser “Martínez”.

10 AHQ, Notarías, Pedro Patiño Gallardo, 1812, fs. 194r-195r.

todos los naturales. Porque “ninguno de mis hijos quiso dar la cara”.<sup>11</sup>

### El compromiso con las imágenes de devoción legadas.

Alarcón describe las fiestas rituales dedicadas a las primicias de la siembra del tzoalli (alegría) y el consumo de ídolos con la pasta de tzoali, y la colocaban en sus oratorios

... como si colocaran alguna imagen, y poniéndoles candelas y encienso les ofrescen entre sus ramilletes del vino preparado para la dedicación ... y para esto se juntan todos los de aquella parcialidad que es la cofradía de Bercebu, y sentados en rueda con mucho aplauso, puestos los tecomates y ramilletes delante de los dichos ydolos, empieza en su honra y alabanza y en la del demonio, la musica del Teponaztli que es un tambor de palo, y con el se acompaña la canturia de los ansianos, y quando ya han tañido y cantado lo que tienen de costumbre, llegan los dueños de la ofrenda y los mas principales, y en señal de sacrificio derraman de aquel vino que avian puesto en los tecomatillos, o parte o todo delante de los idolillos del Huautli, y esta acción llaman Tlatotoyahua.

Así pues, desde tiempos prehispánicos las “candelas y encienso” así como ramilletes de flores, la música y las alabanzas se daba en los oratorios. El legado de las imágenes también contempla las ofrendas: sahumerio, sus luces, sus rosas y sus ceras, así como barrer su espacio. Un caso del cuidado de las imágenes es el testamento de Ignacio León, del 10 de septiembre de 1747,<sup>12</sup> en San Pedro de la Cañada: “Declaro que por debocion mio tengo un señor crucificado de bulto se lo dejo a mis tres herederos para que yualmente le sirvan con misa y luces como es constumbre y se acuerden de las almas de mis padres y de mis pasados ai lo encargo de por amor a Dios que es por mi gusto y voluntad”. Destaca como preocupación que los santitos o imágenes se queden en “la obscuridad”.

En algunos casos el compromiso es realizarle la fiesta y una o dos misas anuales, algunas de las cuales se hacían también en favor de las ánimas de los ancestros y de la propia. Por ejemplo, el testamento

de Bartolomé García -dado en Santiago de Querétaro, el 26 de septiembre de 1704-<sup>13</sup> refiere que éste era natural y vecino del Molino de las madres Monjas de Santa Clara, y cófrade del Santo Cristo de la iglesia de la Cañada, de donde eran sus padres. Su oficio era la albañilería, pues testó su herramienta: martillo, cuchara y plomada. A su hija María Pasquala de los Reyes le dejó una hechura del Santo Cristo “para que le sirba y cuide con la beneracion debida y que no falte con sus misas por ser asi mi debosion amen”. Pidió a sus herederos que celebraran tres misas resadas “cada un año por el tiempo de los finados una por el anima de mi padre y la otra para mi madre y la otra para mi anima y esto la agan por el amor a Dios y con tal que pidan los recibos de dicha misas de cada un año para que conste”.

### El financiamiento del compromiso.

Hemos visto cómo el indio Francisco Martín heredó algunos frutales para el servicio de la virgen. Varios testamentos y documentos notariales nos hablan de cómo ciertos bienes materiales estaban dedicados al cuidado y veneración de las imágenes. Ello parece emular la espiritualización de tierras por parte de las cofradías y hermandades, y al respecto aparecen múltiples registros: tierras del “glorioso señor San Sebastián”, “tierra del Señor San Benito”, “tierras de la virgen fundada en la capilla de nuestro patriarca San José (a orillas del camino que va para La Griega)”.<sup>14</sup> Un registro sobre la aplicación de bienes para el culto de las imágenes familiares lo encontramos el 21 de julio de 1701, cuando dictó su testamento en el Barrio de San Sebastián el indio Juan Luis, hijo de Sebastián de Santiago y de Isabel Luisa,<sup>15</sup> quien pidió ser enterrado en el altar de Nuestra Señora de la Purísima Virgen de la Concepción. Además era cófrade de la Cofradía del Señor San Antonio y de la de San Nicolás. Dejó a su hijo Diego Pérez y a los hijos de éste, la huerta que heredó de su madre. Su nieto Juan Cristóbal recibió la imagen de Nuestra Señora de la Limpia Concepción “para que le sirva intercedan por alma y la lleven a la gloria para donde fue criada y el mandarle decir su misa, con decencia beneracion y reverencia que es devida como madre y amparo nuestro que esta en

13 AHPJQ, Judicial, Civil, 1778, fs. 1r.-2v.

14 AHQ, Judicial, Civil, legajo 260, 1699, fs. 1r.-3v.

15 AHQ, Judicial, Civil, legajo 201, 1761, caja 65, fs. 3r.-5r.

11 AHQ, Judicial, Civil, legajo 134, 1812, fs. 3r.-4v.

12 AHPJQ, Judicial, Civil, 1778.



la avitacion casa y morada en donde vive el dicho mi hijo Diego Pérez que es en la parte de junto, a orillas del rio, de la parte levante....”. Dejó a su hijo Juan Nicolás la casa de su vivienda y morada, y este pedazo de tierra con árboles frutales que heredó “de i abolengo, como heredero forsos e hijo legitimo...”. Y una hechura de un Santo Cristo u otra imagen de nuestra Señora de la Concepción para que le sirva con toda beneracion y decencia como es devida”. Su nieto Juan Antonio recibió otra hechura de San Antonio, para que le mandara decir su misa cada año, y le sirviera conforme a su posibilidad. Y otra hechura de Nuestra Señora de la Limpia Concepción, igualmente para que le sirva y “para aser bien por las animas de nuestros pasados y que la gose...”. Para que Juan Antonio pudiera cumplir con dicho compromiso, le dejó un pedazo de tierra “de lo que dejo a mi hijo Juan Nicolas”. A su nieta Ysabela María le dejó una hechura del Señor de San Antonio de Padua, “para que le sirva decir su missa con toda veneración y reverencia como es devida y aser bien por las ánimas del purgatorio”. Finalmente, su nieto Pedro Antonio recibió una hechura de Nuestra Señora de la Limpia Concepción para su misa con toda veneración y decencia, “y para aser bien por las animas de nuestros mayores obligaciones”. Otro ejemplo es el testamento de Sebastián Javier<sup>16</sup> dado en San Pedro de la Cañada, en octubre de 1737. En él encontramos de nuevo cómo la tierra y bienes materiales se ligaban al culto a las imágenes de devoción familiar. Sebastián heredó un terreno a su hermano Pedro de Joseph, estipulando: “le usaras y cultivaras para que le sirva a la virgen de nuestra señora de la Concepción este es mi gusto y voluntad”. En su testamento, la india Catalina María dispuso el 22 de agosto de 1777<sup>17</sup> ante toda su parentela que las rentas o lo que se sembrase en otro pedazo de tierra que heredó de sus padres, en la Congregación del Cerrito y barrio del Retablo, se aplicara “á las ymagenes, en misas, rosas, ynsenso, por ser de mis padres dichas ymagenes, y son hun señor crusifico nombrado de Chalma hun San Antonio de media bara de bulto y huna Purísima Conceusion de bulto y la santa cruz chiquita enbutido en espejo, en medio de a cuarta y desta dicha tierra no deveran repartirse nayde para el servicio de dios nuestro señor como tambien declaro no haber testado mis padres”.

16 AHQ, Judicial, legajo 173, 1737, fs. 26v-27r.

17 AHQ, Judicial, Civil, legajo 184, 1777, fs. s/n.

## Los oratorios y las capillas familiares.

Los documentos consultados registran la existencia de capillas de indios en los barrios de San Roque, San Sebastián, La Cruz, San Francisquito y Espíritu Santo de Santiago de Querétaro; los barrios de San Pedro La Cañada y en San Francisco Galileo. Por el testamento de la india Ana María -del 21 de agosto de 1670-<sup>18</sup> sabemos que en su casa y huerta ubicada en el centro de San Pedro la Cañada tenía una capilla, aunque no menciona su advocación. Pidió ser enterrada en la Iglesia “chiquita” del mismo pueblo. Posiblemente se trate de una capillita aladaña a la misma, cuyos vestigios recientemente sus herederos fueron desapareciendo poco a poco. De algunas capillas de San Pedro La Cañada contamos con más información. El testamento del indio Juan Esteban, del 27 de enero de 1677, refiere que su capilla se ubicaba en el Rincón de la Cañada, frente del Molino de la jurisdicción de San Pedro y donde caía el agua del mismo.<sup>19</sup> Esteban legó sus magueyes a “su querido danto San Andrés para que

le digan su misa y le compren belas y saumerio como yo le servia de la misma suerte le han de serbir no lo escurezcan a este santo del cielo y también al difunto mi padre que se llamaba Juan Gabriel que son los primeros dueños de esos mageys se han de acordar de esas almas para que le manden decir misas dos magealitos están aquí arriba en el sero y también los que están aquí en el rincón de La Cañada enfrente del Molino.

Una referencia más vaga se encuentra en el testamento del indio Marcos, del 11 de septiembre de 1698.<sup>20</sup> Marcos nació en San Juan del Río y cedió las tierras que heredó de sus abuelos a diversas cofradías del mismo: a la de la Virgen de los Naturales y a la de San Juan. Particularmente a ésta última dejó las del Moral, a cambio de misas a las ánimas de sus abuelos. Marcos era cófrade del Santo Cristo de San Pedro de la Cañada y hermano de la Hermandad de la Santa Cruz del Barrio del Molino de San Pedro de la Cañada donde estaba avecinado, y testó a su mujer “un escaño para la capilla”. Adeudándole Diego Martin Tuche cierta cantidad por un acuerdo sobre una tierra, estipula que de no

18 AHQ, Judicial, Civil, legajo 183, 1777, fs. s/n.

19 AHQ, Judicial, Civil, legajo 262, 1685, fs. s/n.

20 AHQ, Judicial, Civil, legajo 203, 1759, fs. 53r-55v.

pagarle éste, lega dicho monto “a las ánimas del purgatorio”.

Un caso importante es el de José de la Cruz Chávez, cacique del pueblo de San Pedro de la Cañada, que en su testamento del 23 de octubre de 1772 menciona la construcción de una capilla “nueva” sufragada por su hija María Andrea.<sup>21</sup> Esta capilla es conocida como Capilla de San Andrés Apóstol del barrio de San Antonio, se encuentra en funcionamiento y es de los Martínez Chávez, aunque actualmente sólo está a cargo de una heredera (Entrevista a Mencia Chávez realizada en febrero de 2018). El testamento refiere que la casa de Andrea lindaba por el norte, con camino real que va para Querétaro, por el sur, con las peñas altas “que es el fondo”. José era hijo de don Thomas de la Cruz Chávez y María Sebastiana. Se casó tres veces: 1º. Con Juana María León procreó doce hijos pero sólo quedaron: Eugenio de León Chávez, Basilio de León Chávez, María Andrea, José de León Chávez y Miguel José Gerónimo de León; 2º. Con María Astacia: de dos hijas sobrevivió María Rita Quiteria; y 3º. Con María Petra, no dejó descendencia. Tenía varias propiedades en el Barrio de Santiago del Molino. Entre ellas una que compró y tenía de fondo desde el río hasta las cejas de las peñas altas que estaban para el sur, pero se lo quitó el difunto Melchor, por “mala conciencia”. En el barrio de Los Dolores tenía tres. Una más en el pueblo de San Pedro con derecho a agua, que lindaba hacia el sur con tierras de la cofradía de Nuestra Señora del Tránsito, y hacia el norte con el río que iba para la ciudad de Querétaro, que era de su finada esposa Juana María de León. José de la Cruz dejó para que le sirvieran en común “como á sido constumbre de mis antecesores”: una señora de la Limpia Concepción de bulto en su oratorio y Santo Cristo Crucificado. A su hijo Eugenio de León y Chávez un San Antonio de bulto. A su hijo Juan Basilio de León un señor San Juan de lienzo. Finalmente, a su hija María Andrea una Señora de Guadalupe de lienzo y una huerta chiquita si sus hermanos no le pagaban lo que había gastado en la capilla nueva. Pero si lo hacían, podían repartírsela por partes iguales. Según la “Partición de los bienes de José de la Cruz Chávez, realizada el 28 de febrero de 1780”,<sup>22</sup> ante toda la República de naturales, el albacea Andrés Franco había repartido las huertas y algunos

terrenos entre los herederos. Pero no así un pedazo de tierra en el barrio de Los Dolores ni la casa principal donde estaba la capilla vieja, dedicada a Nuestra Señora de la Limpia Concepción, la cual medía 28 varas y cuarta de fondo y 30 de frente por el camino principal que bajaba a la ciudad de Querétaro. Los problemas entre los herederos se resolvieron con una donación y ajustes en las propiedades. Lo cual permitió adjudicar a Andrea María Chávez y León “el pedazo de terreno donde estaba fundada o comenzada la capilla nueva que por haberla mudado su marido a dispensas suyas que lo es Domingo de la Crus en otro sitio y terreno que haze al fondo de dicho terreno”. El frente de su terreno quedó para el camino real que bajaba a la ciudad de Querétaro “y su fondo a tesvereda con dicha capilla que haze al sur y por el poniente con un callejón que queda en medio entre la casa de Miguel Gerónimo de León y la dicha adjudicada a dicha Andrea sin perjuicio de los demás herederos”. Agregó a propósito de la capilla vieja:

Yten. Desde la cañería que está enfrente de la vibienda hasta llegar a la orilla de la sequia entre todos los herederos a una bos dieron consentimiento a donde hizo cambio con un pedazo de tierra en donde esta la herencia de la difunta nuestra madre: y que después estando nos todos conjuntamente con el señor alcalde don Thomas de la Cruz y nuestro albacea que arriba menciona que queda la capilla bieja que nos sirvan todos en común como también damos consentimiento a mi hermana Andrea el quarto que esta o paderes que los acabe y que viba en ella.

La Capilla actual dedicada al Señor Santiago en el Barrio de San Pedro, atrás de los Baños El Piojito, no es la original. Ésta se ubicaba en La Cruz Alta, pero en fecha incierta se incendió con una veladora. La imagen del Señor Santiago montado en su caballo también sufrió el percance. Era una talla de madera a escala natural. Con los restos que sobrevivieron a las llamas sus devotos mandaron tallar la actual, que es nombrada por su tamaño “El Santiaguito” (Entrevista a los herederos del culto al Señor Santiago, enero de 2018). Posteriormente encontró asiento en otra vieja capilla del Barrio de San José, no obstante, el movimiento provocado por el ferrocarril la derrumbó y sólo sobrevivió su calvarito. Aunque el culto al Señor Santiago el día 24 de junio de cada año se mantiene “en común”, los encargados de preservarlo son los llamados “herederos”. Los actuales son: los descendientes

21 Signo de su autoridad local es que legó a su hijo Miguel José de León un bastón de bejuco y una vara de fiscal. AHQ, Judicial, Civil, legajo 139, 18110, fs. 2r.5v.

22 AHQ, Judicial, Civil, legajo 139, 1810, fs. 5v.-7v.

de Carmen Luna, es decir, la familia Luna Martínez; Juan y Jobita del Hércules; y Antonio Martínez. Cada familia resguarda alternadamente la imagen de bulto del santo en su casa durante un año. La remuda de casa va acompañada de una ceremonia. Otro testimonio asegura que tras el derrumbe sólo quedó su calvarito.<sup>23</sup> Finalmente, la abuela de don Seferino Ramírez legó la que actualmente es su morada. El origen de esta devoción lo localizamos en el testamento de la india Petrona María de la Cruz,<sup>24</sup> del 7 de diciembre de 1786. Petrona era hija de Salvador de la Cruz y de Ángela Rosa (Edeni o Döni), y tenía un hermano llamado Anastacio. Sus dos hijos sobrevivientes estaban ya casados y “emancipados”. Dejó todas sus propiedades e imágenes al indio José Antonio, su vecino y exarrendatario de la hacienda de La Noria: “le doy a mi poder, y facultad de mandar y cumplir de todos la obligación de este dicho pueblo y como también en mi santo oratorio según de mi cargo por ser hombre de mi satisfacción”. Heredó tierras de su padre, de un repartimiento, del 15 de junio de 1738, pero ella compró otras en los barrios de San Juan y Los Dolores, y por el Cementerio. El “santo oratorio” de su morada era del Señor Santiago, al cual su heredero acostumbraba hacer su fiesta. Pero, legó al común los santos de su devoción para que le sirvieran: un Señor Santiago, dos Santos Cristo, dos San Antonio, un San Francisco y un San Pedro, así como tres lienzos. Encargó a José Antonio continuar la obligación con el Señor Santiago con sus misas y luces, pero también a “las almas de nuestros ahuelos, y sucesores”, con dos misas anuales.<sup>25</sup> Aunque el culto a Santiago el día 24 de junio se mantiene “en común”, los encargados de preservarlo son los llamados “herederos”.<sup>26</sup>

Finalmente, hay información sobre una capilla existente en el Barrio de San José. El 2 de octubre

23 Hace poco un familiar de uno de los herederos se posesionó de una fracción de terreno de dicho predio y la vendió con todo y calvarito. Él comprador falleció de una extraña enfermedad, simplemente “se secó”. Los devotos lo atribuyen a un castigo por haber despojado al santito (Entrevista a herederos del Señor Santiago, enero de 2018).

24 Testamento de Petrona María. San Pedro de la Cañada, diciembre 7 de 1786. AHQ, Notarías, José Ignacio Vera, 1787-1788, fs. 8r-9v.

25 Entre los testigos firma José Antonio Martín, principal del pueblo, probablemente se trate del mismo.

26 Los actuales son: los descendientes de Carmen Luna, es decir, la familia Luna Martínez; Juan y Jobita del Hércules; y Antonio Martínez, el “Mencho”. Cada familia resguarda alternadamente la imagen durante un año. La remuda de casa se acompaña de una ceremonia.

de 1799, el indio principal Basilio Antonio Sánchez, hijo de Gaspar de los Relles y de Phelipa de la Cruz dictó su testamento.<sup>27</sup> Por él sabemos que con Andrea María procreó nueve hijos, pero sólo sobrevivieron la tierna edad cuatro, y otro falleció ya casado, dejando dos herederos. Contaba con muchas tierras que distribuyó entre sus hijas y nietos. Particularmente dejó a su nieto Juan Agustín Sánchez el oratorio que heredó de su difunto padre, ubicado en su morada: “de frente cinco varas y de fondo desde el camino real que viene de los Serbines hasta la sexas de las peñas altas”. Legó dos casitas a sus hijas a condición de que sirvieran a sus imágenes, que estaban en su oratorio y eran: un señor San Antonio de bulto, un lienzo de la Santísima Trinidad, “mi señora” de la Limpia Concepción, un señor San Pablo y otras, suplicando a sus herederos les sirvieran “en común con una buena conformidad como lo he servido hasta la presente con sus missa luces flores y saumerio”. Asimismo la mesa y las dos bancas del oratorio, eran del mismo. Pero heredó a su nieto José Antonio Sánchez otro pedazo de tierra en el mismo barrio, con otro oratorio donde tenía: “una señora Santa Gertrudis y mi Señor del Remedio, para que le sirva como le he servido hasta la presente a los dichos mis heredero pero pongo a mi dicho nieto José Antonio haga cabeza y un señor crucificado es común también, así le sirva con sus misas flores y saumerio”. Basilio no falleció entonces y el 18 de septiembre de 1801 modificó su testamento.<sup>28</sup> Aunque repartió sus tierras entre sus herederos legítimos, dejó a sus dos hijas su oratorio e imágenes, “a quien ara bien por mis imágenes zelara y cuidará como también se acordara de mi alma”, pues lo habían cuidado es su enfermedad. Para allanar las disputas, estipuló que ninguno de sus herederos pudiera perturbar su voluntad, “y así mis nietos no se entrometa ni se ponga pleito con sus tías ni que alegar con alguna cosa con algunos traste que dejo mi casa lla se la tengo dada”. Con despecho, aclaró a sus nietos que ya les había dado un buey a cada uno, mientras él no había recibido “nada siquiera una sed de agua del tiempo de mi enfermedad por ser tan desobediente, y así no tenga que alegar cosas algunas”. La otra “manzana de la discordia” había sido una barra (posiblemente una herramienta para cortar la cantera) que había dejado para

27 Testamento de Basilio Antonio Sánchez, San Pedro de la Cañada, octubre 2 de 1799. AHQ, Judicial, Civil, legajo 160, 1799, fs. 1r-4v.

28 AHQ, Judicial, Civil, legajo 160, 1799, fs. 8r-11r.

todos, sobre todo los varones; por ello dispuso que se vendiera.

Hoy día, la Capilla dedicada al Señor Cristo de la Justicia se encuentra sin techo a los pies de la conocida como Peña de las Ardilla o del Baptisterio, propiedad de una heredera, que la ha abandonado, aunque el Señor de la Justicia es resguardado por la familia.<sup>29</sup>

Los barrios indígenas de la ciudad de Santiago de Querétaro también contaban con capillas familiares. La construcción de la capilla del Señor Crucificado del Barrio de San Roque fue iniciada por Alberto Hernández Sentado. En su testamento del 17 de abril de 1774<sup>30</sup> registró su ubicación: en un “pedazo de tierra pedregoso, con algunos nopales, se compone de veinticuatro varas de frente, que miran al norte y confrontan calle en medio que va para Santa Catarina y San Pablo”. Como no había podido techarla, mando a sus hijos que la concluyeran y “metan a los santos, veneren, y cuiden con sus luces, flores, sahumerio, conforme yo y mis padres lo han hecho, sin que ninguno se llame á dueño especial, pues son de todos, y con la misma obligación”. (580) Otro documento de 1757 menciona una capilla más en el barrio de San Roque.<sup>31</sup> Además, la “Medida, división y posesión de tierra a los herederos de Micaela Gerónima, del 12 de agosto de 1811”, refiere que la finada tenía un solar con huerta en la calle de la Buena Muerte. En una fracción del mismo Antonia Lorenza se servía de un cuarto fabricado con adobes como oratorio del Señor San Roque.<sup>32</sup>

En el Barrio de la Santa Cruz también existieron capillas familiares. El 15 de enero de 1811, por haber sufrido un accidente, la india María Teresa dictó su testamento en el barrio del Espíritu Santo.<sup>33</sup> Ella y su finado hermano recibieron como herencia de su madre María Concepción, un terreno en el barrio de la Santa Cruz, con casa y capilla. María se casó en dos ocasiones, pero sus maridos e hijos fallecieron. El señor José Dionisio Jiménez la había cuidado.

29 En El Pueblito sobrevive otra capilla dedicada a la “Cruz de la Justicia”. En 1817, los indios del pueblo fueron acusados por su cura de ser “supersticiosos”, pues guardaban con solemnidad a dicha Cruz, alrededor de la cual celebraban ceremonias nocturnas a las que acudían numerosos indios de otros pueblos. En esas fechas, también habían fundado otra capilla en la casa del indio curandero Patricio García (Ruiz, 2012).

30 AHQ, Judicial, Civil, legajo 86, 1785, fs. 1r-2v.

31 AHQ, Judicial, Civil, legajo 204, 1757, 18r-19v.

32 AHQ, Judicial, Criminal, 1813, fs. 5r-6r.

33 AHQ, Judicial, Civil, legajo, 134, 1813, fs. 4r-5r.

Finalmente dejó sus bienes a la esposa de su finado hermano María Bartola, y a su sobrino José Andrés, para que cuidaran de las tres imágenes de bulto que heredó de sus antepasados: un Señor Crucificado, un Santo Antonio y una Purísima Concepción. José Dionisio sería el albacea y dispuso que viviera en la misma casa y se le “reconozca como padre”. En 1813, encontramos mencionada igualmente una capilla en el barrio de San Francisquito, la cual fue legada a María Bartola, india del mismo barrio. Su derecho fue cuestionado por la familia, motivo por el cual el gobernador de los naturales Don Máximo López Calsonzi presentó el testamento de la finada propietaria María Teresa, india del barrio del Espíritu Santo.<sup>34</sup>

Con respecto al culto y la fiesta de la Santa Cruz de los Milagros en este barrio, los testamentos procuran alguna información sobre las danzas, su vestuario, sus instrumentos y las llamadas capitánías. Los altares que vemos hoy día en las mesas de las danzas, y los ritos que los “herederos” celebran en torno a sus imágenes y ánimas de sus ancestros, indican la vigencia del Ytlapial. La más temprana data del 27 de enero de 1677, cuando el indio Juan Esteban reconoce en su testamento<sup>35</sup> que adeuda a “la señora tenansi llamada María Magdalena son cuatro pesos le an de pagar”. La “tenansi” es un cargo de las danzas y en las capillas eran las encargadas de su barrido. La siguiente es el testamento que Elena de la Cruz dictó el 17 de marzo de 1686. Elena, natural y vecina del barrio del Espíritu Santo y pidió se cobraran a su consuegro Nicolás Ramírez 12 pesos “del alquiler del aliño para celebrar las fiestas de la Santísima Cruz como son caparason pretal calsones y camissa y un pañuelo”. Además, asienta que el maestro Gaspar pintor le debía “un lechón que le di en cinco pesos quando fue capitán en dicho barrio de dichas fiestas”.<sup>36</sup> Una referencia la encontramos en el testamento de Bartolomé García <sup>37</sup> dado en Santiago de Querétaro, el 26 de septiembre de 1704, pues dejó a su hija “donsellita” Pasquala de los Reyes, su vestuario e unos instrumentos musicales de la danza:

(...) un faldellín del color presado echo y derecho acabado con su ribete descarlata colorado y asimismo una camisa de ruan echa y acabada labrada con seda berde y anteaada y puntas grandesitas en la bocamanga y asimismo una

34 AHQ, Civil, 1813, caja 43, Exp. L134C2, fs. 9.

35 AHQ, Judicial, Civil, legajo 262, 1692. fs. s/n.

36 AHQ, Judicial, Civil, legajo 249, 1686, fs. 2r-3v.

37 AHPJQ, Judicial, Civil, 1778, fs. 1r-2v.



cobija de ruán de (...) y echa y acabada con su encaje en medio y sus puntas alrededor y una manta de la villa alta nueva e (...) piesa y asimesmo un guopil acavado de chita de china (...) todo se lo dejo de todo esto a la dicha mi hija Pasquala de los Reyes para que se lo gose con la bendición de dios y la mía y asimesmo le dejo tambien una arpa grande encordada con su clabigera de giero y juntamente con una biguela grande y juntamente tambien una reja grande de arar (...).

Además, dejó su capote de paño fino a su yerno Melchor de los Reyes. El testamento del indio Alberto Hernández Sentado,<sup>38</sup> del barrio de San Roque y propietario de la capilla de indios del mismo, encargó a su esposa María Guadalupe de repartir entre sus hijos los trastes y sus “instrumentos” “para lo cual si no se hayara capaz ocurrirá a la real justicia”.

Cabe precisar que los cultos al interior de las capillas no pocas veces fueron objeto de sospecha por parte de las autoridades y curas, pues albergaban no sólo prácticas devocionales y religiosas, sino también políticas.

## Conclusión

Estas devociones son sostenidas hasta hoy día por linajes con largo arraigo territorial, nombrados “los herederos de las imágenes”. Pero en algunos casos las devociones que ocurren en sus oratorios y capillas familiares convocan a una extensa red de comunidades. Una capilla de un linaje familiar puede quedar finamente vinculada al común, es decir, a la devoción de un barrio o de una localidad. Hoy día, sucede que cuando el grupo de herederos desaparece, por decisión del común se funda uno nuevo. Y cuando una imagen es destruida o robada, se repone por otra de forja contemporánea. Algunos de los testamentos nos hablan sobre las diversas representaciones que existían en torno a las llamadas “ánimas”: del purgatorio, de los antepasados, de los ancestros de mayores obligaciones y el ánima propia. Por lo que el Ytlapial sólo podría entenderse como parte del culto a los muertos o de la relación entre el santo y el heredero. No debemos perder de vista que ocurre ante todo un compromiso materializado en un espacio y sobre la base de los bienes que se poseen. Con todo, no se trata de la herencia común, del capital que deja dinero. Su

base es moral y está en el cuidado y la reciprocidad: “Yo cuido a mi santo, mi santo me cuida a mí”; “Tú me cuidas, mi santo te cuidará”, “Tú me cuidas, yo te recompenso y te cuido con mi legado”. Los documentos consultados muestran grandes y prolongadas disputas y hasta abusos entre los herederos, situación muy lejana de la aspiración de los legatarios, que buscan en una repartición equitativa, y así lograr una conformidad y armonía entre sus descendientes. Hay pues una “comunidad ideal” y un *ethos* que se sustenta en el espacio y tiempo sagrados, en las relaciones que se tejen en torno a las devociones de las imágenes, pero que orienta el tejido social íntimo.

## RESUMEN CURRICULAR

MIRTHA LEONELA URBINA VILLAGÓMEZ: Maestra en Estudios Históricos por la UAQ y Doctora en Ciencias Sociales por el Colegio de San Luis. Acreedora al 1<sup>er</sup> Lugar del Premio Alejandrina, modalidad de investigación en Ciencias Sociales y Humanidades. 2<sup>do</sup> Lugar del Premio Alejandrina 2018, modalidad de Ciencias Sociales. Actualmente desarrolla Estancia Posdoctoral en la Maestría en Ciencias Sociales de la FCPyS de la UAQ.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Dow, James W. (1974). *Santos y supervivencias. Funciones de la religión en una comunidad otomí*, México: INI.
- Jiménez Gómez, Juan Ricardo (2010). *Práctica notarial y judicial de los otomíes, Manuscritos coloniales de Querétaro*. Querétaro: Instituto de Estudios Constitucionales, Poder Judicial del Estado de Querétaro.
- López Austin (2001). *Cosmovisión, ritual e identidad de los pueblos indígenas de México*. Borda Johana (coord.). México: FCE.
- Ruiz de Alarcón, Hernando Br. (1988). *Tratado de las supersticiones y costumbres gentílicas que viven hoy entre los indios naturales de esta Nueva España*, del Br. Hernando Ruíz de Alarcón, Beneficiado de Atenanco, que dirigió a don Francisco Manso de Zúñiga del Consejo de Indias, escrito en 1629.
- Ruiz Medrano Ethelia et all (2012). *La lucha por la tierra: los títulos primordiales y los pueblos de indios en México en los siglos XIX y XX*. México: FCE.



38 AHQ, Judicial. Civil, legajo 86, 1785, fs. 1r-2v.

# ECOS DEL TRIENIO LIBERAL EN LOS REINOS AMERICANOS

# Echos of the Liberal Triennium in the American kingdoms

Dra. Cecilia del Socorro Landa Fonseca

**RESUMEN.** En este breve ensayo se presentan las opiniones de algunos de los ministros reales durante la celebración de las Cortes de Madrid en el contexto del llamado Trienio Liberal (1820-1823), mediante las cuales evaluaron las acciones de la administración española hacia los territorios ultramarinos. Condenaron la falta de sensibilidad política de los funcionarios reales e hicieron algunas sugerencias para terminar con los movimientos rebeldes en esas latitudes. En sus intervenciones se evidenció que si bien existían dos posturas predominantes con respecto a los medios que debían emplearse para lograr la pacificación, ninguno resultó efectivo, pues en realidad los decretos liberales que se adoptaron en 1821 fueron los que dañaron el *status quo* de las corporaciones y los intereses creados de los reinos americanos que, al verse amenazados, provocaron el rompimiento definitivo y, por tanto, la disolución de la monarquía hispánica.

**PALABRAS CLAVE:** Reinos americanos, trienio liberal.

**ABSTRACT.** This brief essay presents the opinions of some of the royal ministers during the celebration of the Cortes of Madrid in the context of the so-called Liberal Triennium (1820-1823), through which they evaluated the actions of the Spanish administration towards the overseas territories. They condemned the lack of political sensitivity of the royal officials and made some suggestions to end the rebel movements in those latitudes. In his interventions it was evident that although there were two predominant positions with respect to the means that should be used to achieve pacification, none was effective, because in reality the liberal decrees that were adopted in 1821 were those that damaged the *status quo* of corporations and the vested interests of the American kingdoms that, when threatened, caused the definitive rupture and, therefore, the dissolution of the Spanish monarchy.

**KEYWORDS:** American kingdoms, liberal triennium.

## Introducción

Existe una amplísima bibliografía sobre los movimientos insurgentes en los reinos americanos y sus causas, desde el siglo XIX hasta nuestros días -que sería imposible comentar en este breve ensayo-. Sin embargo, en sus páginas se plantean paradigmas historiográficos que, en varios aspectos, se contraponen (Annino y col. 2008: 11-96; Ávila y col. 2010; Chust y Frasquet, 2013).

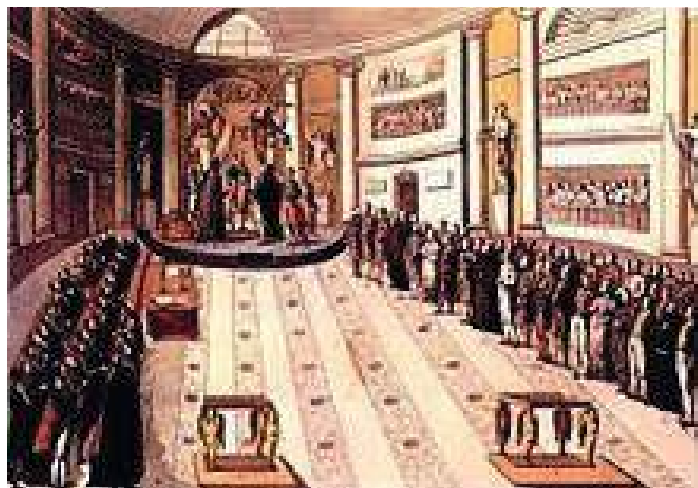
Por ejemplo, en los trabajos escritos antes de la década de los años 80 del siglo XX se señalan como causas de las “revoluciones americanas”, entre otras, la presencia de una corriente nacionalista novohispana, el descontento de los criollos por no tener acceso a los altos puestos políticos o militares, el hartazgo de la relación con España ante las reformas borbónicas, o el propio enfrentamiento entre dos naciones y el odio étnico que motivó la adhesión campesina a los movimientos encabezados por los próceres de la Independencia (Annino y col. 2008: 11-96).

Ya en la década de los años 80 del siglo pasado una corriente revisionista refutó el punto de vista, digamos, tradicional, afirmando que la abdicación de los Borbones en 1808 así como la ausencia del rey Fernando VII detonaron los acontecimientos que, tiempo después, dieron pie al derrumbe de la Monarquía católica.

Autores como Francois-Xavier Guerra, Antonio Annino, Tomás Pérez Vejo, Jaime O. Rodríguez, Manuel Chust e Ivana Frasquet señalan que las llamadas “juntas soberanas” fueron nuevas formas de sociabilidad que surgieron de esa coyuntura, al convertirse en espacios que impulsaron las discusiones sobre la soberanía, al

dar origen al gobierno representativo, así como a las tradiciones republicanas y liberales que sentaron las bases para la construcción de los Estados-Nación durante el siglo XIX (Guerra, 1992; Guerra y Annino, 2003; Pérez Vejo, 2010; Breña, 2006). Inclusive, ponen en duda la existencia de un severo descontento contra la Corona y niegan que hayan sido “... unas guerras de liberación nacional en las que las naciones americanas, esclavizadas por la nación española, consiguieron su independencia, poniendo fin a tres siglos de colonialismo y explotación económica... con el objetivo de poner fin a la hemorragia de las venas abiertas por la colonización...” (Pérez Vejo, 2010: 14-16). Asimismo consideran que si bien el malestar social y las tensiones entre los diferentes grupos fueron caldo de cultivo para las rebeliones, “no pueden seguir defendiéndose como la principal causa” (Ávila y col. 2008: 22). En resumidas cuentas -y según la región y sus características particulares- afirman que la acefalía del poder en 1808, el liberalismo gaditano y el descontento de las élites criollas disgregaron, a la postre, a la Monarquía católica.

Existe otra perspectiva, en la que se destaca, por un lado, la “teoría de la conspiración”, a la que casi ningún autor se refiere como tal y que sostiene que Fernando VII, cuando regresó del exilio y enfrentó las insurrecciones de los reinos ultramarinos, estaba convencido que éstas, a su parecer, eran “...maquinaciones de unos cuantos criollos que arrastraban al resto de la población, [por lo que] se tendía a privilegiar la solución armada” (Breña, 2006: 436). Si Fernando VII, en cambio, hubiese escuchado aquellas voces que decían que tales movimientos eran el resultado de un malestar generalizado debido a causas estructurales, habría optado por la negociación,



FUENTE: Cortesía de la autora.

como sucedió en 1823, cuando ya no había marcha atrás. Así lo muestran las opiniones del Conde de Varea y del Marqués de Piedra Blanca.

Por su parte, “la vía pacífica” estuvo representada por quienes estaban en contra de las medidas violentas del Rey y apostaron por la negociación y las concesiones a los reinos, apoyando gran parte de sus esperanzas en la práctica de la Constitución de 1812 como vía de solución a las demandas de igualdad de derechos, representación y libertad de comercio.

Las dos visiones -la armada y la pacifista-, aunque contrapuestas en cuanto al mejor camino a tomar para solucionar la cuestión americana, determinaron en buena medida los resultados del conflicto. Desde 1810 y hasta 1816 se optó por el primer camino, que se ejerció según las características -tan heterogéneas- de cada movimiento rebelde. Se enviaron expediciones militares hacia Nueva Granada, Venezuela, las Provincias Unidas, Uruguay, Río de la Plata, Chile, Perú, Paraguay y la Nueva España, de manera que en 1816 “... prácticamente la totalidad de América está, una vez más, bajo control peninsular. La única excepción es el virreinato del Río de la Plata...” (Breña, 2006: 438-439). La vía armada resultó fructífera. Logró la pacificación en las posesiones españolas ultramarinas y el triunfo del gobierno absolutista de Fernando VII porque se aprovecharon las debilidades políticas de la insurrección, así como el sentimiento de lealtad de los súbditos criollos; esto es, las representaciones colectivas en el imaginario de los vasallos logró mantener viva “... la creencia básica de que el rey era el último guardián de la justicia y la Iglesia católica la única garantía de la salvación eterna” (Landavazo, 2001: 18-20). Y en función de tales representaciones, los americanos reaccionaron como fieles vasallos católicos del monarca. No obstante, “... los métodos empleados por los funcionarios del gobierno -aunque eficaces a corto plazo- echaron las semillas de la siguiente y más decisiva fase de la insurrección” (Breña, 2006: 439).

Así lo exponen los discursos de los ministros reales durante las Cortes del Trienio Liberal (1820-1823) objeto de este trabajo, que propusieron diversas alternativas de solución a la cuestión americana. Las largas alocuciones en favor o en contra de la guerra buscaron mantener a la nación como un solo cuerpo, unido en los dos hemisferios -como en su momento expuso el Conde de Campomanes y Floridablanca- (Ávila, 2008: 22). Estas diatribas son muy reveladoras

pues evidencian que si bien los autores revisionistas han replanteado los paradigmas historiográficos tradicionales e incorporado elementos novedosos en sus análisis, también es cierto que están presentes algunos elementos que por décadas han formado parte de las explicaciones clásicas para entender las independencias -como se observa en las intervenciones ministeriales, objeto de estas líneas-. Se observa, ciertamente, que los funcionarios públicos peninsulares que participaron en las Cortes estaban convencidos que el mal gobierno, la falta de sensibilidad política, la impericia de los funcionarios y la incompreensión sobre los intereses de la oligarquía criolla, detonaron el descontento y promovieron en gran medida las revoluciones de independencia. Pero la gota que derramó el vaso fue, sin duda, la serie de decretos liberales que afectaron directamente los privilegios militares, eclesiásticos, y de las corporaciones comerciales. De ahí el desenlace fatal para la metrópoli.

Por tal motivo, es indispensable replantear las miradas acerca de las causas que llevaron a los rebeldes americanos a romper de manera definitiva con la metrópoli y profundizar en los efectos de dichas disposiciones, que han sido desdeñadas en las explicaciones sobre los motivos que llevaron a la consumación de las independencias, particularmente en la Nueva España, como se vislumbra en los dictámenes de los ministros reales. Algunos retomaron las propuestas que en 1818 externó el ministro de Estado José García de León y Pizarro -partidario de la vía pacifista y un convencido de que la solución a la cuestión americana era fundamental para la metrópoli-, señalando la importancia de “... la centralización de las decisiones relativas a América, el establecimiento del libre comercio, la condena de la fuerza militar, la reforma del aparato burocrático americano y del sistema de selección y designación de las autoridades peninsulares y, finalmente, el otorgamiento de permisos para la construcción y acondicionamiento de embarcaciones militares y comerciales...” (Breña, 2006: 440-441), propuestas que, por cierto, se echaron en saco roto y hasta provocaron el despido del señor ministro. Por tanto, “... esta destitución y el olvido en el que caen las recomendaciones de mediados de 1818 para la pacificación americana, significaron el fracaso de la última oportunidad de la España peninsular para conservar algunas de sus posesiones continentales americanas. Cuando el gobierno del Trienio vuelva



a plantear algunas de las medidas que habían sido sugeridas por León y Pizarro, la evolución de los movimientos americanos de emancipación las hará impracticables” (Breña, 2006: 441).

Por lo anterior sería adecuado revisar las reflexiones y propuestas que se plantearon, tendientes a evitar el desmembramiento de la Monarquía hispánica entre 1820 y 1823, y en esta revisión preguntarse, ¿cuáles fueron las causas que provocaron el rompimiento definitivo, especialmente en la Nueva España?

### Los sucesos en España (1820-1823)

La revolución liberal que el 1 de enero de 1820 encabezó en España el coronel Riego, exigió al Rey la jura de la Constitución de Cádiz de 1812. Y aun cuando se consideró como la solución a los problemas españoles y de los reinos ultramarinos, la postura de Fernando VII fue ambigua, pues en su discurso señaló de manera velada la opción militar y continuó explotando el imaginario colectivo en torno a su persona, pretendiendo que su figura seguía intacta:

Americanos: vosotros los que vais extraviados de la senda del bien, ya tenéis lo que tanto tiempo hace buscáis a costa de inmensas fatigas, de penalidades sin término, de guerras sangrientas, de asombrosa desolación y de extremo exterminio. Nada os ha producido vuestra sentida escisión sino lágrimas y dolor, desengaños y amargura, turbulencias, enconos, partidos encarnizados, hambres, incendios, devastación y horrores inauditos: el indicar solamente vuestras desgracias bastará para espantar las generaciones futuras... Oíd la tierna voz de vuestro Rey y Padre... Los dos hemisferios, hechos para estimarse, no necesitan sino entenderse para ser eternamente amigos inseparables, protegiéndose mutuamente en vez de buscar ocasiones en qué perjudicarse... depónganse las armas y extíngase la bárbara guerra... Las Cortes... van a juntarse: vuestros hermanos de la Península esperan ansiosos con los brazos abiertos a los que vengan enviados por vosotros para conferencias con ellos, como iguales suyos, sobre el remedio que necesitan los males de la patria, y los vuestros particularmente: la seguridad de sus personas tiene por garantía el pundonor nacional, y aquel suspirado Código que a la faz del universo he jurado, y observaré religiosamente... (AGI, Indiferente 1568, Comunicado del Rey a los habitantes de Ultramar).

El compromiso de Fernando VII y de sus seguidores, partidarios del absolutismo, era aparente. Fue por ello que las relaciones políticas con sus adversarios y convencidos del liberalismo gaditano fueron de tensión permanente y crisis ministeriales, mientras que en el ámbito social se vivió un periodo de enorme entusiasmo político, de debates constantes, ejercicios de discusión y libertad de la prensa, como no se había visto antes (Breña, 2006: 444).

A pesar del monarca español, se convocó a la elección de los diputados de América: 29 que vivían en España, actuaron como suplentes. Las sesiones iniciaron el 9 de julio de 1820 y los representantes continuaron pidiendo -como lo habían hecho entre 1810 y 1812- igualdad de derechos, libertad de comercio, la abolición de los monopolios, mayor autonomía de los reinos y el establecimiento de las diputaciones provinciales (Rodríguez, 1996: 348-349). Los propietarios procedentes de América llegaron entre febrero y junio de 1821. De la Nueva España fueron 49 diputados novohispanos, seis de Guatemala, uno de Cuba, uno de Panamá y tres de Venezuela (Rodríguez, 1996: 349). Realizaron grandes esfuerzos, aunque vanos, por conseguir la paridad de derechos y representación, mientras que la asamblea se dedicó a discutir los problemas de la metrópoli, sin prestar la atención debida a sus demandas.

### Propuestas de solución

Así las cosas, el Conde de Toreno solicitó la integración de un comité especial para tratar debidamente las demandas de los representantes, conformado por los europeos Calatrava, Yandiola, Crespo y Cantolla, y los hispanoamericanos Alamán, Amati, Zavala y Paul. Después de muchas discusiones presentaron un acuerdo por el que solicitaron se aprobara el proyecto del Conde de Aranda, como una opción para conciliar intereses y lograr la unión entre España y los reinos de ultramar: “... sin nombre de independencia y bajo la forma representativa... distribuir el continente de América en tres grandes secciones con otros tantos delegados que ejerciesen el poder ejecutivo, pudiéndose confiar este encargo a los infantes de España. Los delegados habían de ser responsables, no sólo a la sección de Cortes de cada una de estas grandes divisiones, sino también al rey y a las Cortes generales... lo que venía a formar una grande confederación, teniendo al rey de España a su cabeza” (Alamán, 1986: 317-319). La cuestión no prosperó,

pero muestra que había consenso en torno a continuar unidos con la metrópoli.

En los foros que aquí nos interesan algunos de los ministros retomaron las sugerencias que años atrás -en 1818- manifestó José García de León y Pizarro. Si bien mostraron cierta comprensión hacia la falta de sensibilidad política de las autoridades, en algunos casos apoyaron la vía de las armas como opción para no perder los reinos de ultramar. En este tenor se expresó el Conde de Varea<sup>1</sup> (AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Dictamen del consejero Varea, 8fs.), quien consideró que los problemas principales que aquejaban a las provincias de Buenos Aires, Chile, Santa Fe, Caracas y Nueva España -que vivían en un estado de total insurrección- se debían a tres factores principales que las aquejaban:

1. La gran distancia que existía entre las provincias americanas y la metrópoli, lo que hacía imposible una respuesta rápida a sus demandas;
2. La queja de que los americanos no podían ocupar elevados puestos, ni seculares ni eclesiásticos, y;
3. El despotismo sin freno que los gobernantes habían ejercido sobre esos territorios.

Para resolverlos, propuso que en cada distrito de los virreinos y capitanías generales se estableciera un gobernador y dos consejeros nombrados por el Rey, y uno, al menos, americano, bajo las órdenes directas del monarca y de las Cortes, para decidir todos los asuntos gubernativos. Se permitiría que éste nombrara a los funcionarios menores y que los de mayor rango en el ámbito eclesiástico y secular se eligieran de una terna propuesta desde América, donde se incluyeran los hombres más destacados, honestos y dignos del nombramiento. Sólo se descartaron los asuntos legislativos por ser facultad exclusiva de las Cortes generales. De esa manera quedaría solventado el grave problema de los trámites largos y penosos que, en muchas ocasiones, nunca concluían, "... y con esta providencia las distancias enormes que hay desde la península a las posesiones ultramarinas se

1 Las comparecencias estuvieron a cargo del Conde de Varea, Requena, el Marqués de Piedra Blanca, Gabriel Ciscar, el Marqués de San Francisco y Herrera, Porcel, Laserna, Vázquez Figueroa, Ignacio de la Pezuela, Aycinena, Luyando, Flores y el Príncipe de Anglona. Sus opiniones son muy valiosas para comprender cuál era la perspectiva que se tenía en España sobre los acontecimientos americanos, mismas que son poco conocidas en la historiografía latinoamericana del periodo, y que se abordan en estas breves líneas.

acercan [digámoslo así] moral y civilmente, pues en nada influye la distancia para la pronta decisión de los negocios" (AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Varea, fs. 2v-3v). Tales medidas buscaban debilitar la imagen despótica de los gobernantes, aun cuando se pensaba que era necesaria la mano dura para acabar con los rebeldes, "... hombres inmorales y devorados por su excesiva ambición [que] jamás se prestarán a nada justo... Si el gobierno les remite proclamas, las despreciarán los revoltosos: si envía negociadores, los harán retroceder sin escucharlos y si usa de otros medios suaves, todo será inútil y la insurrección continuará sin remedio" (AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Varea, f. 6r.).

De tal suerte, a toda costa debía el gobierno, sin reparar en gastos, reforzar al ejército y enviar tropas bien armadas para volverlos al orden. Reconocía que la metrópoli pasaba por graves dificultades económicas, por lo que propuso se solicitara la ayuda de las potencias de Europa, comprometidas por el *Tratado de Utrecht* del 11 de abril de 1713, mediante el cual se reconoció la posesión legítima de España sobre los territorios de ultramar. Sobre todo el apoyo de Inglaterra, pese a la relación comercial clandestina que mantenía con las provincias americanas y a los fuertes rumores sobre su apoyo a las revueltas con miras de conseguir prerrogativas comerciales exclusivas. Sugirió también que se otorgaran "... algunas ventajas temporales sobre comercio, bien en rebaja de derechos o bien señalando algunos puertos para solo los ingleses y españoles de ambos mundos sin reparar en perjuicios, pues aconseja la prudencia que se sacrifique una parte por salvar el todo" (AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Varea, fs. 6r-8r.).

Por su parte, el consejero Requena -inclinado hacia la vía pacifista- informó que se había convenido el restablecimiento del Consejo de Indias a fin de contar con un órgano que diera cauce a todos los problemas americanos, y sugirió la elaboración de reglamentos para los reinos como una medida para lograr la reconciliación. Coincidió con Varea en la necesidad de distribuir de manera equitativa -entre americanos y europeos- los altos cargos en las carreras eclesiásticas, de magistratura y de hacienda pública, otorgando la mitad a unos y la otra mitad a los otros. Situación que debía hacerse extensiva a España para que fuese adoptada en cualquiera de los empleos del palacio imperial.

Propuso el nombramiento de clérigos americanos para ocupar algunos de los obispados de la península,

pues en los de las provincias ultramarinas los titulares eran todos españoles. A partir de esa disposición podrían "... alternar en los obispados de América un español europeo con otro americano, conforme vayan vacando [de manera que se evitarían] las desavenencias escandalosas que ocurrían en los capítulos provinciales entre los europeos y americanos". Propuso la libertad de comercio, habilitando en los puertos de América -igual que en los españoles- la navegación y comercialización de sus productos, sin restricciones. Además, permitir a barcos extranjeros tocar esos puertos, pagando más derechos de importación y exportación que los nacionales, y así contrarrestar el contrabando tan extendido que significaba uno de los más graves problemas de intercambio comercial que habían afectado las transacciones interoceánicas, debido a las barreras proteccionistas (AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Dictamen del consejero Requena, fs. 1r- 3r.). Los habitantes de América, pues, debían contar con las facilidades necesarias para dedicarse a cualquier actividad productiva, para sembrar "... cuantos frutos les convenga, y establecer todas las fábricas y géneros de industria a que quieran dedicarse para sus adelantamientos" (AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Requena, f. 3r.). De este modo se ratificó el tremendo daño causado por las políticas proteccionistas que se practicaban en el hemisferio americano, que sólo frenaron el desarrollo de numerosos negocios.

Se planteó establecer un sistema de ascensos en el ejército que favoreciera a los habitantes americanos. También se admitió que si bien algunas de las medidas liberales gaditanas eran correctas, no estaría de más derogar la que ordenaba la supresión de los conventos y las reformas de regulares. "La supresión de conventos y reforma de regulares pudiera suspenderse, siempre que se pueda, con respecto a la América, por razones que son bien obvias y que podrían expresarse en este dictamen, y debe pedirse la remisión de misioneros a todos los diferentes puntos de América, pues si no se refuerza con más operarios evangélicos, como es una obligación de España, perderá mucho la propagación del evangelio en todos aquellos dominios, por lo cual sería conveniente reforzar el envío de misioneros para continuar con la labor evangélica", de manera que "... se estableciesen otros colegios en España para los dominicos y franciscanos, de los cuales saliesen religiosos a los muchos puntos de América... trayendo los jóvenes, sean indios o españoles de América que tengan

vocación para ser religiosos, y puedan volver éstos a ser útiles a su patria y a la religión" (AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Requena, fs. 4r-5r.).

Se coincidió con Varea en flexibilizar el nombramiento de cargos eclesiásticos, judiciales, militares y políticos, mediante un sistema alternado entre españoles y americanos, y en crear una junta conformada por los empleados de mayor rango para que decidieran en asuntos de carácter inmediato en los que el Rey no tuviera que intervenir, a fin de evitar grandes demoras en las resoluciones.

Por último, Requena recomendó se brindara un indulto general a todos los americanos involucrados en la insurrección, se olvidara el pasado y se ratificara en sus puestos, grados y destinos a los empleados. Frente a la postura del Conde de Varea, la suya fue de reconciliación, por lo que rechazó el envío de fuerzas militares y, por ende, se pronunció por la vía pacífica.

Durante su intervención, el Marqués de Piedra Blanca afirmó que "... es de opinión que la suspensión de la ley sobre monacales respecto de ultramar lejos de ser medida de pacificación, puede ser más bien causa de mayor insurrección, y que esto mismo pudo tenerse presente cuando las Cortes la decretaron..." (AGI, Indiferente 1570, 26 de octubre de 1821, Dictamen del Marqués de Piedra Blanca, f. 39r.). Se pronunció también por abolir la ley que prohibía fundar nuevos conventos, pues atendiendo a la profunda religiosidad americana, en vez de pacificar a los reinos les daba motivos para continuar en la contienda. Y como partidario de la vía armada propuso se reunieran ocho millones de pesos para que se "... habilitaran todos los buques de guerra que tiene la nación, y para comprar del extranjero todos lo demás... que se necesiten para proteger nuestro comercio, y para que se puedan bloquear rigurosamente todos los puertos de mar y aun las costas que posean los disidentes de ultramar, sin permitir la entrada en ellos al extranjero sin el debido permiso de Su Majestad" (AGI, Indiferente 1570, 26 de octubre de 1821, Dictamen del Marqués de Piedra Blanca, fs. 39r.- 41r.). Con el propósito de mantener siempre unidas aquellas provincias a la Madre Patria, sugirió que en cada una el Rey nombrara una junta compuesta por tres individuos que hubieren nacido en ambas Españas, "... sin exclusión de personas reales de su augusta familia, con las facultades de que pueda nombrar interinamente todos los destinos que vacaren en aquellos países". Finalmente, denunció a los gobernantes que

allende el mar administraban a placer, sin respeto de las leyes, cometiendo atrocidades, robos, enriquecimiento y abusos, "... sin que jamás se haya visto la restitución de lo mal adquirido, ni el condigno castigo de aquellas personas que se hayan así conducido... Éstas son las principales quejas y los sentimientos en general de aquellos habitantes, y a esto es a lo que se debe poner remedio eficaz y duradero para la pacificación, unión y seguridad..." (AGI, Indiferente 1570, 26 de octubre de 1821, El Marqués de Piedra Blanca, fs. 40v. y 41r.).

Gabriel Ciscar expuso que la pacificación era prácticamente imposible dada la enorme distancia entre América y España, por lo que consideró que sólo podía salvaguardarse el comercio y mantener comunicación expedita con aquellas provincias. Se opuso de manera terminante a "... mendigar la fuerza armada inglesa para hacer la guerra a los españoles ultramarinos [porque era] impolítico e indecoroso para la primera nación del mundo y muy propio para fomentar en los corazones de aquellos naturales un odio irreconciliable al dominio de Vuestra Majestad" (AGI, Indiferente 1570, 7 noviembre de 1821, Voto particular de Don Gabriel Ciscar, f. 41v.). La distancia había provocado "la extraordinaria morosidad de las providencias" en dar respuesta a los problemas de los súbditos americanos, por lo que propuso la organización de cuatro o más estados federados independientes entre sí, pero relacionados, y de ser posible bajo la dependencia de España. Se manifestó contra la vía armada y por la emancipación, para evitar que los habitantes americanos fueran víctimas del "... furor de los partidos o de un despotismo militar... y le parece [al que expone] que la emancipación absoluta es más compatible con la constitución y menos transcendental que la conservación de la dependencia de aquellos países con medidas anti-constitucionales" (AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Voto particular de Don Gabriel Ciscar, f. 43v.).

El Marqués de San Francisco y Herrera afirmó que sin duda el mal gobierno era la causa principal que había provocado el malestar de las provincias ultramarinas y se manifestó en contra de restablecer el Ministerio o Consejo de Indias, que no "... puede influir de ningún modo para conseguir la pacificación que se desea, y que ésta (si es posible) ha de ser removiendo los pretextos de que se valen los agitadores de la revolución para extraviar la opinión, y no es uno ciertamente el de que se trata. Lo son, sí, la distancia a que se hallan del centro del Gobierno

para atender sus solicitudes y que se les administre pronta justicia, los gastos e incomodidades que son consiguientes; las trabas que han experimentado en muchos de los ramos de su agricultura, industria y comercio; la arbitrariedad con que generalmente han sido tratados por las principales autoridades, y la poca o ninguna consideración que han merecido en la provisión de empleos..." (AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Voto adicional del Marqués de San Francisco y Herrera, fs. 43v-45v.).

La participación de los Consejeros Aycinema, Luyando, Flores y el Príncipe de Anglona fue muy amplia. Señalaron los graves errores que el gobierno español había cometido durante 300 años y en los últimos 11 en los que había enfrentado guerras civiles. "Conviene también que el Gobierno hable a las provincias disidentes, para buscar su opinión y poder rectificarla, ilustrando a todos sus habitantes, poniéndoles a un tiempo ante los ojos el magnífico cuadro que de la unión resulta, y el que les presente el triste porvenir que les espera, si ellos mismos por no poner freno a las pasiones de los que los seducen, se dejan arrastrar a un abismo de que no podrán salir, diciéndoles franca y noblemente, que en virtud de los principios liberales que ha adoptado, nada le queda que hacer en favor de La América, después de cumplir lo que ahora se la ofrece; y que si no se extiende a declarar a todas, o muchas, o algunas de las provincias de ultramar en estado de independencia, es porque la justicia, la política y los mismos intereses de La América se lo impiden. Se lo impide la justicia, porque después de once años de la más triste experiencia ha visto, y la Europa también, que no hay en La América los elementos necesarios a formalizar gobiernos que puedan conservar el orden interior; y esto no podrán negarlo los mismos que creyéndose capaces de tan ardua empresa, no han sabido realizarla, y el Gobierno faltaría a su más sagrada obligación si cediendo al ronco grito de pasiones exaltadas, pusiera en mano de ellas la vida y la honra y bienes de quince millones de habitantes. Lo impide la política, porque ninguna de las provincias de La América se halla capaz de ofrecer garantía en ningún pacto, tratado ni convenio, ni de sostener la independencia..." (AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Voto particular de los Consejeros Aycinema, Luyando, Flores y Príncipe de Anglona, fs. 1r-18r.)

Sea como fuere, se vertió una gran cantidad de tinta sobre el asunto, pero la visión de la asamblea fue corta pues no reparó en el gran malestar que



causaron los decretos liberales adoptados durante las Cortes de Madrid, que a la postre provocaron un grave descontento entre los americanos, especialmente en la Nueva España. Nos referimos, en particular, a los siguientes decretos:

El 1 de octubre de 1820 se suprimieron las órdenes monásticas, se prohibió el establecimiento de nuevas congregaciones -de cualquier tipo-, se ordenó la secularización de sus integrantes y de los capitales piadosos, así como la abolición de la Inquisición. El 25 de octubre del mismo año se suprimieron los fueros eclesiásticos y militares en materia civil y penal. Se ordenó que se cumpliera con la disposición que desde el siglo XVI mandó que los regulares estuvieran bajo la supervisión de los obispos diocesanos, se prohibió que en cada población hubiera más de una casa de cada orden, y fueron excluidos de la participación política (Hamnett, 2011: 294-296).

En las diferentes comparecencias, los ministros hicieron patente su enorme preocupación por las intenciones de algunos países para reconocer las independencias y obtener prerrogativas comerciales, de manera parcial o total, por lo que se precisó la necesidad de advertirles que cualquier acción de ese tipo se consideraría una violación a los tratados internacionales. También se enfatizó sobre que la Corona no había renunciado a ninguno de los derechos que le correspondían sobre aquéllas (AGI, Indiferente 1570, Observaciones que ocurren a la mesa del negociado reservado sobre el importante expediente de medidas de pacificación de ultramar, 9 fs., f.9r.). Por ello, las Cortes lanzaron un decreto, el 28 de junio de 1822, conminando a las potencias extranjeras a respetar los derechos peninsulares sobre sus posesiones en América.

Se propuso, además, nombrar a un grupo de comisionados especiales para viajar al continente americano e intentar que las provincias de volvieran al orden monárquico. En los propósitos iniciales del documento que se publicó para tal efecto, se expuso que la causa de la disidencia no había sido ni la opresión ni el abuso de poder, sino la serie de circunstancias extraordinarias que se derivaron de la invasión napoleónica en 1808 y que provocaron que las provincias de ultramar tomaran diversas direcciones. El Rey -no como un monarca resentido ante sus súbditos extraviados, sino como un pacífico mediador en las desavenencias de sus hijos- deseaba poner fin a ese dolor e incertidumbre, por lo que reconocía y aceptaba el envío de comisionados para que escucharan

las observaciones de los jefes rebeldes. Se les ofrecería la vigencia de la Constitución Liberal de Cádiz, pero antes de hacerse realidad, las Cortes y el Rey dedicaron muchas horas a discutir asuntos que competían al nombramiento de los enviados especiales -tema de otro trabajo- (AGI, Indiferente 1570, Decreto de las Cortes de 28 de junio de 1822 sobre la pacificación de las provincias disidentes de ultramar, 10fs ). En tanto, no se percataron que los decretos liberales de las Cortes de Madrid, que afectaban directamente los intereses creados de las oligarquías corporativas, harían imposible la pretendida reconciliación.

### Reflexiones finales

Entre 1820 y 1823, en medio de un ambiente de liberalismo exacerbado, las medidas económicas fueron las más discutidas. Se sugirieron algunas, a fin de impulsar el intercambio de productos y disminuir el proteccionismo español en aras de mejorar los negocios de los habitantes de ultramar. No obstante, la visión de las cosas fue nuevamente unilateral, pues no se tomó en consideración la grave trascendencia de los decretos liberales que tomaron las Cortes de Madrid y que dañaron los intereses corporativos de las élites criollas. Aunque los ministros Varea, Requena y el Marqués de Piedra Blanca sí percibieron ese descontento, no insistieron lo suficiente para derogar las medidas que abolieron la Inquisición, la prohibición de fundar nuevos conventos y la extinción de los ya existentes, o la eliminación del fuero eclesiástico y militar para juzgar los delitos del orden civil y penal, entre otros. No comprendieron la dimensión de los intereses ultramarinos, por lo que se esfumó el sueño de que España se mantuviera como un solo cuerpo, como una nación unida en los dos hemisferios -según señalaron en su momento el Conde de Campomanes y Floridablanca-.

En gran medida, esa falta de sensibilidad en las Cortes y su desconocimiento de la realidad americana dieron pie a la disolución de la Monarquía y al rompimiento definitivo con la metrópoli. El camino que habían recorrido durante más de 11 años de guerra hizo imposible que aceptaran las propuestas del liberalismo español. Las élites criollas, que eran leales a la Corona (Breña, 2006: 448) aún en 1821, claramente tenían otros intereses que se pusieron de manifiesto cuando el peligro del liberalismo exaltado los empujó "... a declarar su independencia y construir sus Estados al margen de los planteamientos

políticos de las Cortes, sobre todo a partir de febrero de 1822...” (Chust y Frásquet, 2013, Epílogo: 6).

Se rompió la relación de los americanos con el Rey, que mantenía unidos a los reinos a pesar de su lejanía geográfica. La cuestión de la lealtad explica la reticencia de los reinos americanos de prescindir definitivamente de Fernando VII, pues al final se trataba de eliminar una figura simbólica y, sobre todo, de romper un pacto que comprometía a cada individuo.

De ahí, en fin, “... la dificultad -que los americanos comparten con los liberales españoles- de pasar de la fidelidad a una persona singular a la lealtad hacia una entidad abstracta, ya sea ésta la Constitución o la nación”, con un carácter independiente (Guerra y Annino, 2003: 125-126). Sin duda, la falta de sensibilidad política y el desconocimiento de las múltiples realidades americanas influyeron de manera definitiva en la disolución de la monarquía española.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alamán, Lucas. *Historia de México, desde los primeros movimientos que prepararon su independencia en el año de 1808 hasta la época presente*, parte segunda que comprende desde el plan proclamado por D. Agustín de Iturbide en Iguala, en 24 de febrero de 1821, y sucesos de España que dieron motivo a su formación, hasta la muerte de este jefe y el establecimiento de la República Federal Mexicana en 1824. Continuada hasta la época presente para terminar la Historia de las Tres Garantías de aquel plan, y dar idea del Estado actual de la República, T. V., México, Libros del Bachiller Sansón Carrasco, 1986.
- Annino, Antonio y Rafael Rojas. *La independencia. Los libros de la patria*, con la colaboración de Francisco A. Elsa-Barroso, coordinadora de la serie Clara García Ayluardo, México, CIDE, F.C.E., 2008.
- Ávila, Alfredo y Pedro Pérez Herrero, compiladores, en *Las experiencias de 1808 en Iberoamérica*, Prefacio de Juan Ramón de la Fuente, México, Universidad de Alcalá, UNAM, 2008.
- Ávila, Alfredo y Virginia Guedea. *Actores y escenarios de la Independencia. Guerra, pensamiento e instituciones, 1808-1825*, México, F.C.E., 2010.
- Breña, Roberto. *El primer liberalismo español y los procesos de emancipación de América, 1808-1824. Una revisión historiográfica del liberalismo hispánico*, México, El Colegio de México, 2006.
- Chust, Manuel e Ivana Frásquet. *Tiempos de revolución. Comprender las independencias iberoamericanas*, Madrid, Mapfre, Taurus, 2013. Libro digital.
- Guerra, Francois-Xavier. *Modernidad e Independencias. Ensayo sobre las revoluciones hispánicas*, Madrid, MAPFRE, 1992.
- Guerra, Francois-Xavier y Antonio Annino, (coordinadores) *Inventando la nación, Iberoamérica, siglo XIX*, México, F.C.E., 2003.
- Hamnett, Brian. *Revolución y contrarrevolución en México y el Perú. Liberales, realistas y separatistas, 1800-1824*, México, F.C.E., 2011.
- Landavazo, Marco Antonio. *La máscara de Fernando VII. Discurso e imaginario monárquicos en una época de crisis. Nueva España, 1808-1822*, México, El Colegio de México, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, El Colegio de Michoacán, 2001.
- Pérez Vejo, Tomás. *Elegía Criolla. Una reinterpretación de las guerras de independencia hispanoamericanas*, México, Tusquets editores, 2010.
- Rodríguez, Jaime O, *La independencia de la América española*, México, El Colegio de México, Fideicomiso Historia de las Américas, F.C.E., 1996.

## Documentos del Archivo General de Indias (AGI)

- AGI, Indiferente 1568, Comunicado del Rey a los habitantes de Ultramar. 1f.
- AGI, Indiferente 1570, 26 de octubre de 1821, Dictamen del consejero Requena, 7fs.
- AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821 Dictamen del consejero Varea, 8fs.
- AGI, Indiferente 1570, 27 de octubre de 1821, Voto adicional del Marqués de San Francisco y Herrera. 5fs.
- AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Voto particular de Gabriel Ciscar. 4fs.
- AGI, Indiferente 1570, Observaciones que ocurren a la mesa del negociado reservado sobre el importante expediente de medidas de pacificación de ultramar, 9 fs.
- AGI, Indiferente 1570, 7 de noviembre de 1821, Voto particular de los Consejeros Aycinema, Luyando, Flores y Príncipe de Anglona, 18 fs.
- AGI, Indiferente 1570, Decreto de las Cortes de 28 de junio de 1822 sobre la pacificación de las provincias disidentes de ultramar, 10fs.

