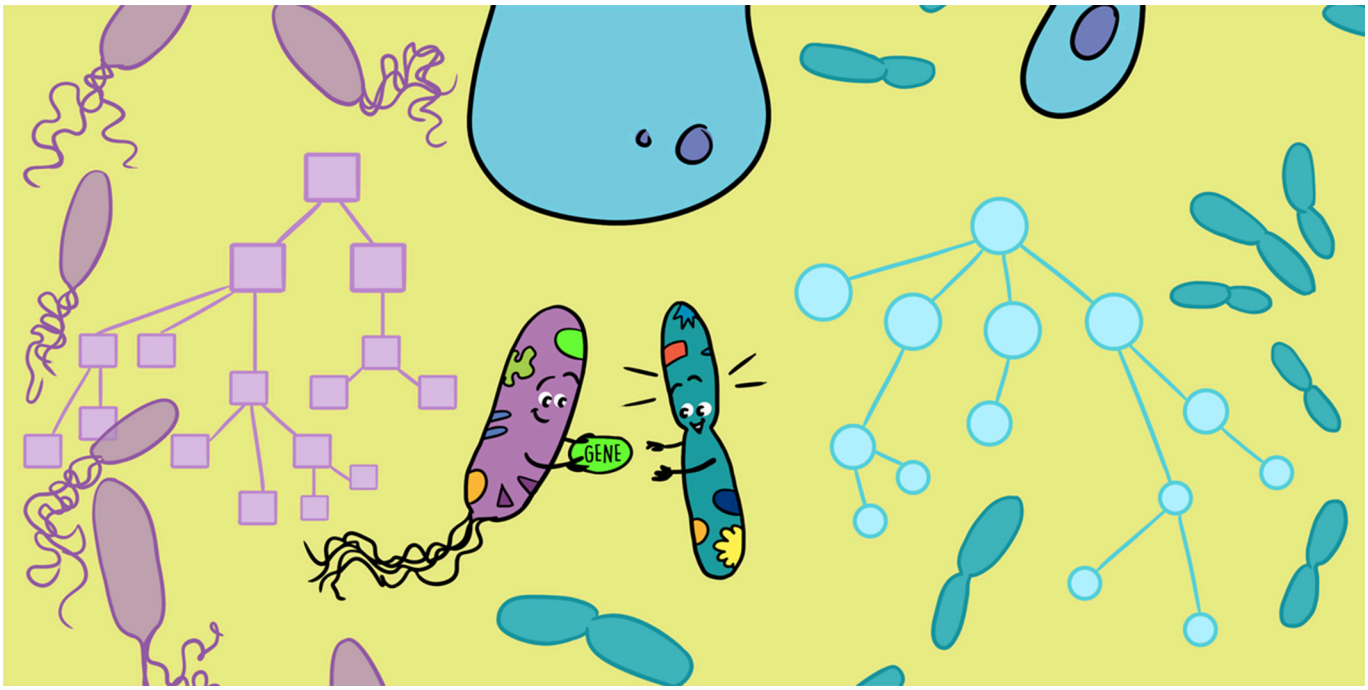
التنوع الحيوي
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024
doi: 10.3389/frym.2019.00135-ar



كيف تنقل البكتيريا جيناتها من جيل إلى جيل؟

Gloria Soberón-Chávez*
قسم البيولوجيا الجزيئية والتكنولوجيا الحيوية، معهد البحوث الطبية الحيوية التابع للجامعة الوطنية المكسيكية المستقلة، الحرم الجامعي، مكسيكو سيتي، المكسيك

يختلف تطوّر البكتيريا عن تطور الكائنات الحية الأخرى. ففي حين أن آباءنا هم المصدر الوحيد الذي نستقي منه معلوماتنا الوراثية، يمكن للبكتيريا استقاء جزء من معلوماتها الوراثية من مصادر أخرى. وفي هذا المقال، سنتناول واحدة من تلك البكتيريا الخيمرية (المختلطة) -هي *Azotobacter vinelandii*- ونستكشف مدى تأثير شكلها الخامل الشبيه بالبذور على تطورها.

مقدمة

بزغت أول خلية حية على سطح الأرض منذ ما يقرب من أربعة مليارات سنة. وهي خلية تُسمى السلف المشترك الشامل الأخير، ونطلق عليها اختصارًا اسم لوكا. لا يعرف البشر الكثير عن خلية لوكا، ولكن ما نعرفه هو أن كل النباتات والحيوانات وكل واحد منا نحن معشر البشر قد تطور من هذه اللوكا. ويعود الفضل في هذه المعرفة إلى الدراسات التي أُجريت على بروتينات خاصة موجودة في خلايا أحفاد لوكا. فلا غنى عن البروتينات

المراجعون الصغار

DIEGO
العمر: 11

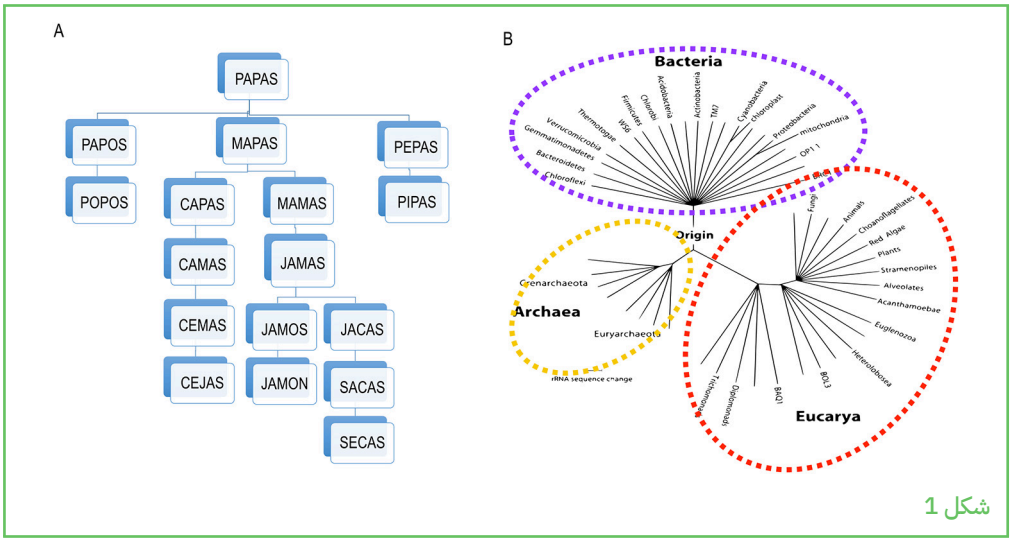
البروتينات (Proteins)
هي جزيئات كبيرة ومعقدة تضطلع بأدوار بالغة الأهمية في الجسم. فهي التي تؤدي معظم العمل في الخلايا، وهي ضرورية لبنية أنسجة الجسم وأعضائه ووظيفتهما وتنظيمهما.

لكل كائن حي، فهي الجزيئات المسؤولة عن فعل الأشياء التي تساهم في الإبقاء على جميع الكائنات على قيد الحياة.

إن أي عملية بيولوجية ضرورية لاستمرار الحياة، مثل التنفس أو الهضم أو التكاثر تشتمل على البروتينات بطريقةٍ ما. ويختلف العديد من هذه العمليات وما تشتمل عليه من بروتينات بين الكائنات الحية -فمثلًا تختلف البروتينات التنفسية للأسماك تمامًا عن بروتينات الفيلة- غير أن بعض البروتينات من الأهمية بمكان بحيث يجب على الجميع إنتاجها. إحدى هذه الوظائف الأساسية للحياة هي الآلية المُستخدمة لإنتاج البروتينات، التي تنفذها مجموعة من البروتينات المقترنة بجزيئات أخرى وتُسمى معًا بالريبوسوم. ويُعد الريبوسوم بالغ الأهمية لدرجة أنه لم يتغير كثيرًا منذ أن كانت خلية لوكا موجودة. وقد أفسح لنا تتبع التغييرات البسيطة في الحمض النووي الذي يكوّن الريبوسوم المجال لإلقاء نظرة خاطفة على تاريخ تطور الكائنات الحية ومتابعة علاقاتها.

شجرة الحياة الشاملة

لما كانت خلية لوكا هي منشأ جميع الكائنات الحية، وكانت جميع الكائنات الحية تحتوي على ريبوسومات، فمن الممكن تكوين «أشجار عائلة» توضح لنا ارتباط الكائنات الحية المختلفة من خلال تتُّبع التغييرات البسيطة التي طرأت على ريبوسوماتها. في أشجار العائلة المذكورة -التي يطلق عليها العلماء اسم أشجار النشوء والتطور- يوجد كل نوع عند أطراف الأوراق، ويوضح حجم الفروع بين أي طرفين مدى تشابه الكائنات الحية الموجودة عند الطرفين مع بعضها البعض. فعلى سبيل المثال، تُعد الفروع التي تفصل بين القطط والأسود والنمور أصغر من الفرع الذي يفصل بين هذه الحيوانات والحيتان. ومن ثمّ، في شجرة نشوء وتطور الثدييات، تشكّل جميع السنوريات مجموعة ضيقة من الفروع تتشعب عند القاعدة من فرع الحيتان. ويمكنك فهم كيفية تكوين شجرة نشوء وتطور باستخدام الكلمات، على النحو المُوضح في شكل 1A. وإذا زِدنا حجم شجرة النشوء والتطور بإضافة كل كائن حي معروف إليها، فسوف



شكل 1

الريبوسومات (Ribosomes)

الريبوسومات هي بِنى معقدة تتكون من بروتينات وجزيئات أخرى. هذه الآلات الجزيئية موجودة في كل خلية وهي الموقع الذي يشهد إنتاج بروتينات جديدة.

شكل 1

تكوين أشجار النشوء والتطور. **(A)** مثال على كيفية تكوين أشجار النشوء والتطور باستخدام الكلمات المُكونة من خمسة أحرف. في هذا المثال، يمثّل كل تغيير في حرف وحدة مسافة واحدة، لذا فإن أي كلمتين يفصل بينهما حرف واحد/مسافة واحدة في الشجرة تكونان متشابهتين للغاية، في حين أن الكلمتين اللتين تفصل بينهما أحرف/خطوات أكثر (مثل كلمتي «cejas» و «secas»، اللتين تفصل بينهما تسع خطوات) تكونان أقل ارتباطًا. ويمكنك أن تلاحظ أن آخر سلف مشترك لأي كلمتين هو الموضع الذي تتلاقى فيه مساراتهما (أي كلمة «mapas» في حالة كلمتي «cejas» و «secas»). **(B)** رسم بياني لشجرة الحياة المُكوّنة باستخدام التسلسل الجيني للريبوسوم للأنواع التي تنتمي إلى نطاقات الحياة الثلاثة: البكتيريا والعتائق (التي هي أيضًا كائنات مجهرية وحيدة الخلية) وحقيقيات النواة (التي تشمل جميع الحيوانات والنباتات). ولما كانت شجرة النشوء والتطور تضم جميع الكائنات الحية، فإنها تُسمى «شجرة الحياة الشاملة» (هذا الشكل هو تعديل لرسم بياني من Pace في عام 2009).

نصل في نهاية المطاف إلى شجرة الحياة الشاملة، التي يمكننا أن نرى فيها العلاقات بين جميع الكائنات الحية [1] (شكل 1B).

في المثال المُوضح في شكل 1A نستخدم كلمات مُكونة من خمسة أحرف، ولكن لك أن تتخيل أنك إذا استخدمت كلمات أكبر، فستتمكن من قياس مسافات أكبر. يبلغ الطول الكامل لجين الريبوسوم البكتيري حوالي 1500 "حرف"، لذا يُعد حساب العلاقات بين الكائنات الحية باستخدام الريبوسوم حساسًا للغاية، وبالتالي يمكن تضمين جميع الكائنات الحية في شجرة الحياة الشاملة.

ويمثل المسار المُتكون من أسفل الشجرة إلى أطراف الأوراق مسار التطور المؤدي إلى الأنواع الموجودة عند ذلك الطرف. وبعد اتباع ذلك المسار المحدد، خسر أعضاء ذلك النوع القدرة على التزاوج وإنجاب ذرية مع أعضاء من الأنواع الأخرى التي اتبعت مسارات تطور مختلفة.

لا ترث البكتيريا دائمًا جيناتها من والديها

يرث كل نوع حمضه النووي أو معلوماته الجينية مباشرةً من أسلافه. ويرث أولئك الأسلاف حمضهم النووي من الجيل الذي سبقهم، وهكذا دواليك، مُتبعين مسار التطور إلى الخلف وصولًا إلى خلية لوكا. ولما كانت المعلومات الجينية لكل نوع حكرًا على ذلك النوع، فلا يمكن مشاركتها إلا مع أعضاء ذلك النوع، فهي تنتقل من الوالدين إلى ذريتهما. هذا ما لم نكن نتحدث عن البكتيريا. فالأنواع البكتيرية لديها القدرة على مشاركة أجزاء من معلوماتها الجينية مع الأنواع البكتيرية الأخرى التي لم تتبع مسارات التطور نفسها؛ حيث يمكن للبكتيريا أن ترث الحمض النووي من البكتيريا الأخرى غير المرتبطة بها بأي شكلٍ من الأشكال. يُطلق على هذا الانتقال للمعلومات الجينية اسم النقل الأفقي للجينات، لأن انتقال المعلومات الجينية يتخذ مسارًا أفقيًا بين البكتيريا التي تنتمي للجيل نفسه، بدلًا من المسار العمودي بين الوالدين والذرية.

المعلومات الجينية (Genetic information)

هي الحمض النَّووي الرِّيبي منقوص الأكسجين في كل كائن حي، الذي تُخزّن فيه المعلومات اللازمة لإنتاج البروتينات والمكونات الخلوية الأخرى. وينتقل الحمض النووي من جيلٍ إلى الجيل الذي يليه عن طريق الوراثة.

النقل الأفقي للجينات (Horizontal gene transfer (HGT))

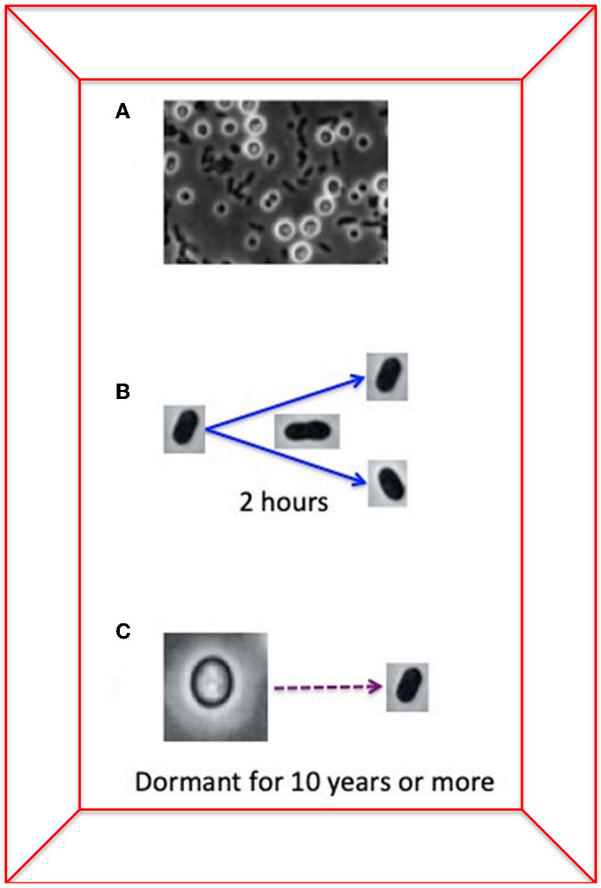
هو عملية وراثة المعلومات الجينية من أنواع غير مرتبطة. وآلية الوراثة هذه غير شائعة، لأن الكائنات الحية عادةً ما ترث معلوماتها الجينية من والديها اللذين ينتميان إلى النوع نفسه الذي تنتمي إليه ذريتهما.

ومن الخصائص الأخرى المثيرة للاهتمام في البكتيريا أن بعضًا منها يمكنه أن يطوّر أشكالًا خاملة تشبه بذور النباتات. ويمكن أن تعيش هذه الأشكال الخاملة لفترة طويلة بدون تكاثر (شكل 2). وتشبه هذه الأشكال الخاملة مستودعًا قديمًا للمعلومات الجينية، يمكن أن تستخدمه الكائنات الحية الأخرى نظريًا [2]. ويمكن الاحتفاظ بالمعلومات الجينية للأشكال الخاملة لسنوات عديدة دون تغيير ويمكن دمجها في الأنواع الأخرى للبكتيريا من خلال النقل الأفقي للجينات.

هل البكتيريا لديها القدرة على تكوين الخيمرات؟

لكي تكون لدينا صورة أوضح عن كيفية تأثير الأشكال الخاملة من البكتيريا على التطور البكتيري، لنتخيل أن الديناصورات يمكنها إنتاج بيض بمقدوره البقاء في البيئة لعشرات

الملايين من السنين. في تلك الحالة، كنا سنصادف من حينٍ لآخر ديناصورًا صغيرًا لديه جينات غير موجودة في أي كائن حي آخر ويعيش في العصر الحالي ويتعايش مع الحيوانات الحديثة.



شكل 2

دعونا نتخيل أيضًا أن هذه الديناصورات المولودة حديثًا يمكنها التزاوج مع حيوانات أخرى. حينها سيكون من الممكن إنجاب حيوانات خيمرية، وهي عبارة عن حيوانات تحتوي على معلومات جينية -وبالتالي أجزاء مادية- لأنواع مختلفة. وإذا تحقق هذا السيناريو، فقد نرى حيوانًا خيمريًا لديه أجزاء من الطيور والديناصورات والثدييات!

لقد تخيلنا أن قدرة البكتيريا على وراثة الحمض النووي عن طريق النقل الأفقي للجينات وقدرتها على البقاء خاملة لفترات طويلة سيسمح بتكوين الخيمرات البكتيرية، كما رأينا في مثال الديناصور الصغير. وهذا السؤال هو السبب في إجراء بحثنا [2].

بحثًا عن خيمر بكتيري: حالة بكتيريا *AZOTOBACTER VINELANDII*

لقد كنا مهتمين بمعرفة ما إذا كانت الأشكال الخاملة للبكتيريا يمكنها إنتاج بكتيريا خيمرية باستخدام قدرتها على نقل المعلومات الجينية من خلال النقل الأفقي للجينات.

شكل 2

تمتلك البكتيريا الخيمرية *Azotobacter vinelandii* شكلين من أشكال التكاثر: يستغرق تكاثرها عن طريق الانقسام الخلوي ساعتين، في حين تستطيع البِنى الخاملة الشبيهة للبذور أن تبقى على قيد الحياة بدون تكاثر لما يربو على 10 سنوات. **(A)** صورة (التُقطت باستخدام مجهر ضوئي) للخلايا البكتيرية والشكل الخامل الشبيه بالبذور. يمكنك أن تقارن حجم نوعَي الخلية وشكلهما: ستجد أن الشكل الشبيه بالبذور أكبر بمراحل، في حين أن الخلايا البكتيرية العادية صغيرة وداكنة. **(B)** تستغرق بكتيريا *Azotobacter vinelandii* ساعتين للتكاثر عن طريق الانقسام الخلوي. **(C)** يمكن أن يستمر الشكل الخامل الشبيه بالبذرة لبكتيريا *Azotobacter* في الظروف الجافة لمدة 10 سنوات أو أكثر. لذلك، تظل «بذور» بكتيريا *Azotobacter vinelandii* خاملة لمدة أطول 44000 مرة مما تستغرقه الخلايا للتكاثر عن طريق الانقسام الخلوي! ومن الممكن أن تتمخض المعلومات الجينية في الأشكال الخاملة عن مخزون من الجينات يمكن دمجها من بكتيريا بعيدة الصلة عن طريق النقل الأفقي للجينات.

الخيمر (Chimera)

هو أي حيوان أسطوري يتكون من أجزاء من حيوانات مختلفة. ويُستخدم هذا المصطلح في علم الأحياء لوصف أي كائن حي يحتوي على مزيج من الأنسجة المختلفة وراثيًا. وفي هذا المقال، نستخدم هذا المصطلح لوصف البكتيريا ذات المعلومات الجينية الموروثة من كائنات حية مختلفة، بعضها ليس أسلافها.

ولنرى إذا كان من الممكن حدوث هذا، فحصنا جينوم *Azotobacter vinelandii* وهي عبارة عن بكتيريا قادرة على تكوين أشكال خاملة تُسمى chists (شكل 2)، وترتبط ارتباطًا وثيقًا ببكتيريا أخرى تُسمى الزائفة الزنجارية [3].

ومن الأمور الصادمة قليلًا بصراحة هي ارتباط هذه الكائنات الحية، لأن هذين النوعين من البكتيريا مختلفان تمامًا عن بعضهما البعض! ولقد درسنا هذه الحقيقة المثيرة للاهتمام وتبيّن لنا أن هذه الكائنات الحية مرتبطة في شجرة الحياة لأن نصف المعلومات الجينية التي تحتوي عليها بكتيريا *Azotobacter vinelandii* تقريبًا -بما في ذلك بعض الإرشادات حول إنتاج الريبوسومات- مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالمعلومات الجينية التي تحتوي عليها الزائفة [4]، في حين تُستخدم بقية المعلومات في إنتاج البروتينات التي تمنح بكتيريا *Azotobacter* سماتها الخاصة. وإذا لم يكن ذلك كافيًا، فقد تبيّن لنا أيضًا أن المعلومات الجينية التي لم يكن مصدرها الزائفة كانت موروثة من أنواع بكتيرية مختلفة غير مرتبطة [2]. وبعبارةٍ أخرى، فإن جوهر المعلومات الجينية التي تحتوي عليها بكتيريا *Azotobacter vinelandii* مصدره سلف مشترك لبكتيريا *Azotobacter* والزائفة، غير أن بكتيريا *Azotobacter* -خلال مسار تطورها الخاص- اكتسبت معلومات جينية إضافية جعلتها مختلفة للغاية عن «ابن عمها» الزائفة أو عن أي كائن حي آخر، لأن *Azotobacter* عبارة عن خيمر.

ما مدى شيوع الخيمرات البكتيرية؟

من الصعب معرفة ما إذا كانت الكائنات الحية الخيمرية شائعة، بيد أن وجود بكتيريا *Azotobacter* يُعد دليلًا دامغًا على أن الخيمرات قد لا تكون نادرة إلى هذا الحد. وثمة حالتان مُوثقتان على الأقل لأنواع بكتيرية يبدو أن لها جوهر مشتق من مجموعة بكتيرية تُسمى متينات الجدار وأنواع أخرى من المعلومات الجينية المُحصلة من كائنات حية أخرى. وهذه الخيمرات تُسمى *Thematogales* وهي كائنات حية اكتسبت الجينات التي سمحت لها بالعيش في درجات الحرارة العالية، والمغزلية المنواة، وهي بكتيريا موجودة في اللويحة السنية التي اكتسبت جينات من البكتيريا المجاورة. لا تشكّل *Thermatogales* ولا المغزلية المنواة بِنى خاملة شبيهة بالبذور، لكن المعلومات التي اكتسبوها عن طريق النقل الأفقي للجينات قد يكون مصدرها بكتيريا قديمة كانت لديها القدرة على تكوين أشكال خاملة. ما زلنا لا نعرف، لكن ربما سنفعل يومًا ما.

إقرار

أشعر ببالغ التقدير للمناقشات الحماسية والمثمرة مع كارلا جالافيز و أدريان جونزاليز كازانوفا وإينيه جونزاليز كازانوفا وزيمينا مارتينيز دي لا إيسكاليرا.

مقال المصدر الأصلي

González-Casanova, A., Aguirre-von-Wobeser, E., Espín, G., Servín-González, L., Kurt, N., Spanò, D., et al. 2014. Strong seed-

bank effects in bacterial evolution. *J. Theor. Biol.* 356:62–70. doi: 10.1016/j.jtbi.2014.04.009

المراجع

1. Pace, N. 2009. Mapping the tree of life: progress and prospects. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 73:565–76. doi: 10.1128/MMBR.00033-09
2. González-Casanova, A., Aguirre-von-Wobeser, E., Espín, G., Servín-González, L., Kurt, N., Spanò, D., et al. 2014. Strong seed-bank effects in bacterial evolution. *J. Theor. Biol.* 356:62–70. doi: 10.1016/j.jtbi.2014.04.009
3. Rediers, H., Vanderleyden, J., and De Mot, R. 2004. *Azotobacter vinelandii*: a *Pseudomonas* in disguise? *Microbiology* 150:1117–9. doi: 10.1099/mic.0.27096-0
4. Martínez-Carranza, E., Ponce-Soto, G. Y., Servín-González, L., Alcaraz, L. D., and Soberón-Chávez, G. 2019. The evolution of bacteria seen through their essential genes: the case of *Pseudomonas aeruginosa* and *Azotobacter vinelandii*. *Microbiology* 165:976–84. doi: 10.1099/mic.0.000833

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 29 مايو 2024

المحرر: Francisco Barona-Gomez

مرشدو العلوم: César Aguilar

الاقتباس: Soberón-Chávez G (2024) كيف تنقل البكتيريا جيناتها من جيل إلى جيل؟ Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00135-ar

مُترجَم ومقتبس من: Soberón-Chávez G (2019) The Evolution of Bacteria Can Produce Chimeric Creatures: The Case of *Azotobacter vinelandii*. Front. Young Minds 7:135. doi: 10.3389/frym.2019.00135

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2019 © 2024 Soberón-Chávez. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

DIEGO, العمر: 11
هوايتي المفضلة هي القراءة، ويمكنني قراءة كتاب كامل في بضع ساعات. وأحب أيضًا ألعاب الفيديو. وأنا ماهر في الرياضيات واللغة الإنجليزية، وأحصل دائمًا على درجات جيدة في المدرسة. كما أنني أمارس كرة القدم. وعندما أكبر، أريد أن أصبح رئيسًا لبلدي لأحقق العدل في المكسيك.

المؤلفون

GLORIA SOBERÓN-CHÁVEZ
عالمة مكسيكية أنهت دراستها الجامعية وحصلت على درجة الدكتوراة في البحوث الطبية الحيوية من الجامعة الوطنية المكسيكية المستقلة، حيث عملت طوال حياتها (39 عامًا من أصل 62 عامًا). ويتمثل اهتمامها البحثي الرئيسي في الوراثة الجزيئية للبكتيريا، لا سيما الزائفة الزنجارية. وتستمتع قلوريا كثيرًا بالعمل في الجامعة الوطنية المكسيكية المستقلة وبالإضافة إلى إجراء الأبحاث، فقد شاركت في وظائف إدارية، مثل مديرة معهد البحوث الطبية الحيوية ومديرة قسم الدراسات العليا بالجامعة الوطنية المكسيكية المستقلة. وهي تحب الموسيقى وتغني في جوقة تابعة لبرنامج الكورال في الجامعة الوطنية المكسيكية المستقلة، وتستمتع بتجربة الأطعمة من جميع أنحاء العالم وقراءة الروايات.
*gloria@biomedicas.unam.mx

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology