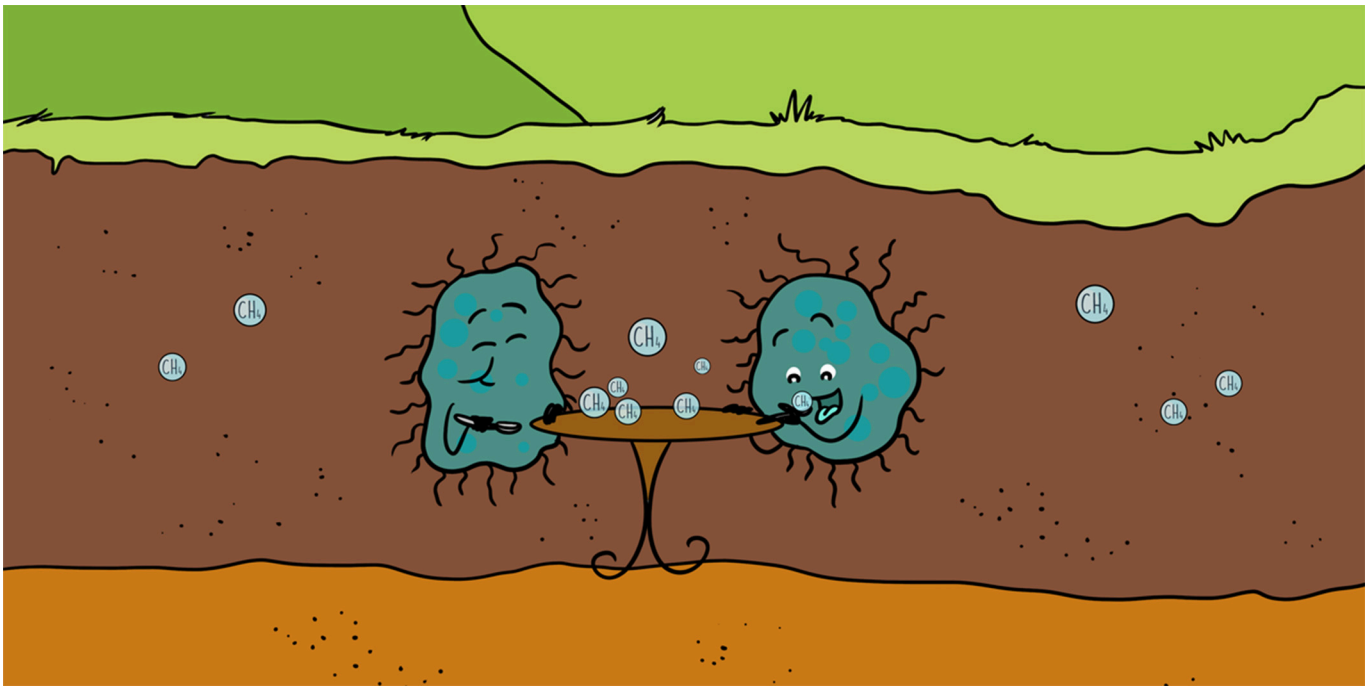
الأرض ومواردها
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 17 أكتوبر 2022
doi: 10.3389/frym.2019.00133-ar



دور الكائنات الحية المجهرية في دورة غاز الميثان

***Santiago Cadena*[1], *Francisco J. Cervantes*[2], *Luisa I. Falcón*[3] *and José Q. García-Maldonado*[4*]**

[1]مختبر علم الأمراض المائية، قسم الموارد البحرية، مركز البحوث والدراسات المتقدمة في المعهد الوطني للفنون التطبيقية، وحدة ميريدا، ميريدا، المكسيك

[2]مختبر الأبحاث على العمليات المتقدمة لمعالجة المياه، المعهد الهندسي، معهد علم الأحياء العصبية، الجامعة الوطنية المُستقلة بالمكسيك، كويريتارو، المكسيك

[3]مختبر البيئة البكتيرية، معهد البيئة، الجامعة الوطنية المستقلة في المكسيك، حديقة يوكاتان للعلوم والتكنولوجيا، ميريدا، المكسيك

[4]مركز الأبحاث والدراسات المتقدمة للمعهد الوطني متعدد الفنون، وحدة ميريدا، ميريدا، المكسيك

هل سبق وأن سمعت عن غاز الميثان؟ ربما لا تألف الكلمة، ولكن في الحقيقة، يتواجد هذا الغاز بكثرة في حياتنا اليومية، وفي غلافنا الجوي، ونظامنا الشمسي. فهو غاز يتكون بصورة طبيعيّة في جميع أنواع البيئات، وينشأ من تحلُّل المواد العضوية (التي عاشت في الماضي). وهو فعال في حبس الحرارة، كما أنه سريع الاشتعال. ولذلك، فإنَّ غاز الميثان هو أحد أهم أنواع الوقود بالنسبة للإنسان. وعلاوةً على ذلك، يُساعد غاز الميثان - الموجود في الغلاف الجوي - في تنظيم مُناخ كوكب الأرض. إلا أن كمية غاز الميثان في الغلاف الجوي شهدت زيادة مستمرة على مدار القرنين الماضيين؛ مما يُثير حفيظة المجتمع العلمي. والمثير للدهشة أن الدراسات الحديثة تُشير إلى أن مستويات غاز الميثان تُنظمها ميكروباتٍ مجهرية. وفي هذا المقال، نُشجعك على التعرف على دورة غاز الميثان، والميكروبات التي تصنع غاز الميثان وتتغذى عليه، والسبب المُلِح وراء إجراء المزيد من الأبحاث حول هذا الغاز.

المراجعون الصغار

ADAM
العمر: 13

ما هو غاز الميثان، ولماذا يُعد مُهمًّا للإنسان؟

غاز الميثان عبارة عن مُركب كيميائي بسيط، يتكون من ذرة كربون واحدة، وأربع ذرات هيدروجين (CH_4). ويتواجد في البيئة في صورة غاز، وهو أحد أهم أنواع الوقود الأحفوري للمجتمع الإنساني. وعند تحلل جزيئات هذا الغاز، تنبعث الحرارة. وبفضل هذه الخاصية، تُزود بعض منازلنا بغاز الميثان، إذ يُستخدم للطهي، وتسخين المياه، وتزويد الأفران والمدافئ الخاصة بنا بالوقود. كما قد يُجمع ويُحول إلى كهرباء؛ ليُستَخدم بصفته مصدرًا طبيعيًّا للطاقة. كما نجد غاز الميثان في تجشؤ الحيوانات، والريح الذي تُطلقه (لا تستغرب، لقد قرأتها بشكلٍ صحيح، الريح الذي تُطلقه!). وهو أحد أوفر الغازات التي تُنتَج في القناة الهضمية بعد هضم الطعام. وباختصار، الميثان غاز شائع الوجود في الغلاف الجوي. ومن الجدير بالملاحظة أن إنتاجه وتحلُّله على كوكب الأرض عباره عن عمليتين تحفزهما الكائنات الحية المجهرية بشكل أساسي.

الكائنات الحية المجهرية (الميكروبات) هي أصغر أشكال الحياة المعروفة، إذ إنها لا تُرى بالعين المُجردة. وتوجد في جميع البيئات الأرضية ونُظُمِها البيئية، وفي بيئاتنا اليومية المُحيطة، ناهيك عن البيئات الأكثر عدائيةً وتطرفًا. وعلى الرغم من ضآلة حجمها، فإن تنوعها ووفرتها هائل وملحوظ. وتُشير التقديرات الأخيرة أننا لم نكتشف 90-99% من نسبة الكائنات الميكروبية الموجودة على كوكب الأرض [1]. وهي من العناصر الرئيسية في عمليات إعادة تدوير **المواد العضوية** والمواد الغذائية الرئيسية على كوكب الأرض. كما تُنظم الميكروبات عملية إنتاج بعض غازات الغلاف الجوي وتحلُّلها؛ بما في ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون والأكسجين الذي نتنفسه، وغاز الميثان.

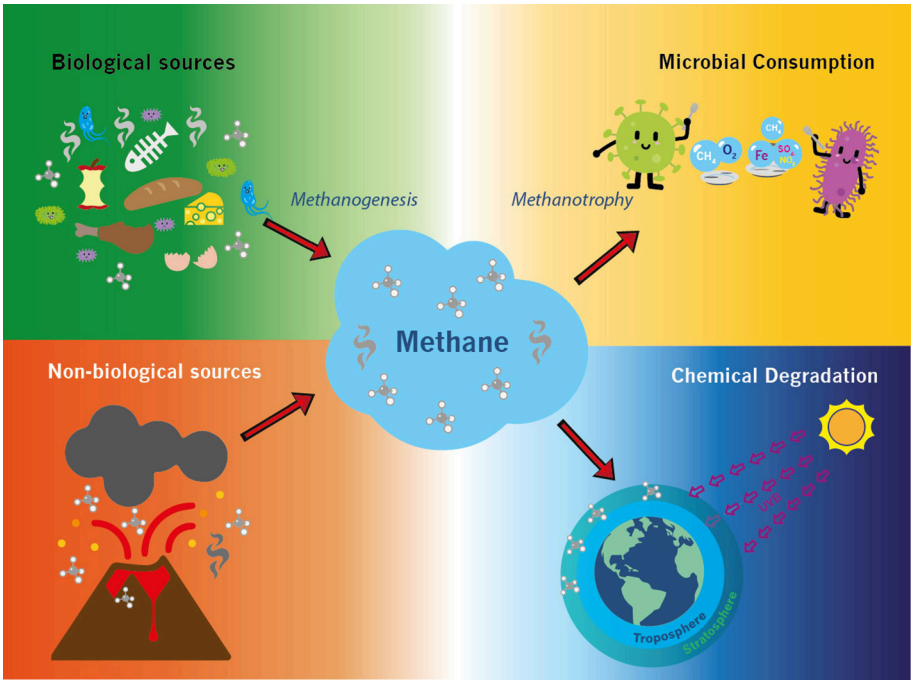
وقد استرعى غاز الميثان اهتمام المُجتمع العلمي بسبب زيادة مستويات تركيزه في الغلاف الجوي بمقدار ثلاثة أمثال تقريبًا، منذ بداية الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر. ومن الجدير بالذكر، أن بعض الدراسات تُشير إلى أن هذه الزيادات الأخيرة المُتعلقة بنسبة غاز الميثان في الغلاف الجوي تحدُث بصورة أسرع مُقارنةً بالمقاييس الزمنية الجيولوجية. مما يدُل على تأثير الأنشطة البشرية ذات الصلة على انبعاثات غاز الميثان. وتتمثل مشكلة غاز الميثان المتزايد في الغلاف الجوي في أنه يتمتع بالقدرة على حبس الطاقة الحرارية الناتجة عن الشمس، ومنعها من العودة إلى الفضاء؛ مما يؤدي إلى ما يُعرف باسم الاحتباس الحراري (أو الاحترار العالمي). وهذه القدرة على احتجاز الحرارة بالغة الأهمية، إذ تُساعد كوكب الأرض على الحفاظ على درجة كافية من الدفء للحفاظ على الحياة به [2]. ورغم ذلك، تؤثر وفرة غاز الميثان على المناخ؛ وتُسهم في حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري. وفي وقتنا الحالي، تُمثل دورة غاز الميثان موضوعًا بحثيًّا رئيسيًّا، بما أننا نحتاج إلى فهم أشمل للمصادر التي يأتي منها غاز الميثان على كوكب الأرض، وكيفية تحوله إلى أشكال أخرى.

الكائنات الحية المجهرية/الميكروبات (MICROBES/ MICROORGANISMS)

أشكال ضئيلة من الحياة، ومنها البكتيريا، والفطريات، وبعض الطحالب الصغيرة.

المواد العضوية (ORGANIC MATTER)

يقصد بها جميع الخلايا والمواد التي تُنتجها الكائنات الحية، بما في ذلك الحيوانات والنباتات الحية والميتة.



شكل 1

إنتاج غاز الميثان في النُظم البيئية

يوجد نوعان معروفان من عملية إنتاج غاز الميثان على كوكب الأرض، ويُطلق عليهما المصادر الحيوية وغير الحيوية لغاز الميثان. إذ تحدث عملية إنتاج غاز الميثان غير الحيوي دون تدخل الكائنات الحية المجهرية. وقد ينبعث غاز الميثان غير الحيوي بفعل البراكين، أو أن يتكون تحت سطح الأرض، أو تحت مستويات مرتفعة من الضغط والدرجات الحرارة. وعادةً ما تنطوي هذه العمليات الحيوية على تحويل الصخور المنصهرة بفعل الحرارة والمياه (الشكل 1). ولا تتم عملية إنتاج غاز الميثان الحيوي إلا بواسطة الكائنات الحية المجهرية. كما تُشير التقديرات الحالية إلى أن نسبة 90-95% من غاز الميثان المُنبعث في الغلاف الجوي ذات أصل حيوي، وتُنتج حصريًّا نتيجةً لنشاط ميكروبي!

وتُسمى عملية إنتاج غاز الميثان الحيوي *توليد غاز الميثان*. وتُسمى الكائنات الحية المجهرية المُنتجة لغاز الميثان، والتي دُرست بعناية بالبدئيات أو ببساطة الكائنات المولدة لغاز الميثان. وتتسم مولدات غاز الميثان **بعملية أيض** مُعقدة تسمح لها بتكوين غاز الميثان، إذ إنها تُنتج حاجتها من الطاقة للبقاء على قيد الحياة. ومن المُبهر أن الأكسجين الجوي - الذي نحتاج إليه للتنفس وللحصول على الطاقة - سام لبعض هذه الكائنات المولدة لغاز الميثان، ولهذا السبب تتواجد هذه الكائنات الحية المجهرية عادةً في المناطق التي لا يتواجد بها الأكسجين أو المناطق التي يكاد ينعدم بها؛ مثل تحت سطح الأرض، ورواسب قاع البُحيرات، والبحيرات المالحة، والأراضي الرطبة، والمحيطات، وحتى في أمعاء جميع أنواع الحيوانات، بما في ذلك الديدان، والنمل الأبيض، والأبقار، والإنسان.

شكل 1

مُخطط لدورة غاز الميثان، يوضح مصادر إنتاج غاز الميثان، وتحلُله على كوكب الأرض.

عملية الأيض (METABOLISM)

تُسمى أيضًا التمثيل الغذائي، وهي جميع التفاعلات الكيميائية اللازمة للحفاظ على حياة الخلية أو الكائن الحي. وتُشير إلى الكيفية التي تبني بها الكائنات الحية العناصر الغذائية، وتُحلِّلها.

كما أن عملية توليد غاز الميثان هي المرحلة الأخيرة التي تحدُث في السلسلة الغذائية في غياب الأكسجين الجوي.

ويُنتج هذا الغاز باعتباره أحد نواتج التحلُّل الكلي للمادة العضوية، إذ تتحلل الجُزيئات المُعقدة إلى مركباتها الأساسية، ثم إلى غاز الميثان، بواسطة الكائنات المولدة لغاز الميثان. مما يعني تحلُّل رُفات الكائنات الميتة، مثل: النباتات والحيوانات، ببطء بواسطة الميكروبات، في جميع أنواع البيئات (الشكل 1). مما يُتيح عودة العناصر الغذائية إلى السلسلة الغذائية، حيثُ تتضمن الخطوة الأخيرة مرحلة إنتاج غاز الميثان [3].

كيف تتخلص البيئة من غاز الميثان بمجرد تكونه؟

تحدُث عملية إزالة غاز الميثان من البيئة بطرق حيوية وأخرى غير حيوية. والطريقة الرئيسية للتخلص من غاز الميثان الموجود الغلاف الجوي غير حيوية، وتحدث في منطقتين من الغلاف الجوي تعرفان باسم التروبوسفير والستراتوسفير. وهما تشكلان الطبقات الدُنيا من الغلاف الجوي لكوكب الأرض، ويبلغ ارتفاعهما من 0 إلى 10 كم، ومن 10 إلى 50 كم فوق مستوى سطح البحر على الترتيب. ويتحلل غاز الميثان في هذه المناطق بواسطة التفاعلات الكيميائية الناتجة عن أشعة الشمس فوق البنفسجية. وتُشير الأرقام إلى تحلُّل أكثر من 90% من غاز الميثان الموجود في الغلاف الجوي خلال هذه العملية (الشكل 1).

لكن المثير للدهشة، أن الطريقة الحيوية لإزالة غاز الميثان على كوكب الأرض، تتم حصريًا من خلال الميكروبات المجهرية!

إذ توجد كائنات حية مجهرية "تتغذى" على غاز الميثان من أجل الحصول على الطاقة. وتُسمى هذه العملية "أكسدة غاز الميثان" أو "الحصول على الطاقة باستخدام الميثان"، وتُسمى الميكروبات التي تُنفذ هذه العملية الكائنات المؤكسدة لغاز الميثان. ويعني الاسم أنها كائنات تستخدم الميثان من أجل الحصول على الطاقة. وتسكُن هذه الكائنات في النظم البيئية التي يُنتج بها غاز الميثان، خاصةً تحت سطح التربة أو في الرواسب. ولكن لا يتفاعل غاز الميثان الموجود في الغلاف الجوي مع هذه الكائنات الحية، إذ إنها تعيش تحت التربة. وعليه، يتراكم غاز الميثان الموجود في الغلاف الجوي؛ نظرًا لعدم قدرة الكائنات المؤكسدة له على تحطيمه. وعلى الرغم من ذلك، نلاحظ ظاهرة مثيرة للاهتمام تحدث في هذا الصدد. فبطريقة ما، يُحتَجز غاز الميثان الذي يتكون في التربة بين جزيئات التربة، حيث يتواجد بالفعل في المكان الذي يُستهلك فيه غاز الميثان بواسطة الكائنات المؤكسدة له بغرض الحصول على الطاقة. مما يمنع غاز الميثان من الانبعاث من التربة هربًا إلى الغلاف الجوي، مما يؤثر على كميات غاز الميثان في الغلاف الجوي تأثيرًا ملحوظًا. فعلى سبيل المثال، تُشير التقديرات إلى أن الميكروبات تستهلك 40-60% تقريبًا من غاز الميثان المنبعث من بيئات الأراضي الرطبة، قبل أن يتمكن من الهروب إلى الغلاف الجوي. مما يُشير إلى الأهمية البالغة لتواجد مؤكسدات

شكل 2

هل من الممكن وجود ميكروبات في أماكن أخرى من النظام الشمسي إذا تواجد بها غاز الميثان؟

شكل 2

غاز الميثان في التربة؛ لمنع انبعاث غازات الانحباس الحراري إلى الغلاف الجوي؛ حيث يمكنها الإسهام في تعجيل وتيرة الاحتباس الحراري.

وتستطيع مؤكسدات غاز الميثان أن تتغذى على غاز الميثان في وجود الأكسجين الجوي، وفي غيابه أيضًا. إذ تستهلك مؤكسدات الميثان الأكسجين، الذي تتحمله بشكل جيد، خلال عملية تحلل غاز الميثان. كما توجد هذه الميكروبات باستمرار في التربة؛ حيث يبدأ الأكسجين في النضوب نظرًا لعدم قدرته على اختراق جسيمات التربة المضغوطة.

وتحتوي هذه المناطق ذات الأكسجين المنخفض على معظم مؤكسدات غاز الميثان، كما نجد هذه المناطق في شتى النُظم البيئية على سطح الأرض.

كما تُفضِّل مؤكسدات غاز الميثان، التي لا تستخدم الأكسجين لتحليله، استخدام مصادر غريبة أخرى للطاقة، حيث تدمج جزيئات الميثان مع أجزاء أخرى من المادة العضوية، أو مع الكبريت، أو النيتروجين، أو حتى بعض الفلزات؛ مثل الحديد، أو المنجنيز. وبذلك يُصبح غاز الميثان هو مصدر الغذاء الرئيسي لها، بينما تُمثل العناصر الأخرى المُكملات. ومن المُدهش أن أول نظرية طرحت حول هذه العملية كانت مستقاة من الأدلة الجيوكيميائية، ولكنها ظلت غير مؤكدة حتى مطلع القرن الواحد والعشرين، إذ إنه من الصعوبة بمكان استنبات هذه الميكروبات في المختبر لدراستها.

الميثان خارج كوكب الأرض

تلعب الكائنات الحية المجهرية دورًا محوريًا في إعادة تدوير غاز الميثان على كوكب الأرض. لذا، بوسعنا أن نتحدث عن الصلة الوثيقة بين غاز الميثان ووجود الحياة على كوكبنا. ومن المُثير للدهشة أننا عثرنا على غاز الميثان في الأدلة الحديثة المستقاة من التليسكوبات والأدوات العاملة عن بعد في أماكن أخرى من نظامنا الشمسي، بما في ذلك كوكب المريخ، وقمريّ كوكب زُحل الجليديين؛ تيتان وإنسيلادوس [4]. وهو أمرٌ شيق للغاية، ويجعلنا نتساءل عن مدى احتمالية وجود بضعة أنواع من الميكروبات في هذه الأماكن لإنتاج غاز الميثان، أو استهلاكه!

عُثِرَ على غاز الميثان لأول مرة على كوكب المريخ بواسطة التليسكوبات الأرضية في مطلع القرن الواحد والعشرين، وبُرهِنَ على وجوده عندما استكشَفت المركبتان الفضائيتان "سبيريت" و"أوبورتيونتي" هذا الكوكب (الشكل 2).

وطرح المجتمع العلمي العديد من التساؤلات حول نشأة غاز الميثان كنتيجة لعملياتٍ حيويةٍ على كوكب المريخ، بينما تُشير كافة الأدلة العلمية التي حصلنا عليها حتى هذه اللحظة إلى أن غاز الميثان نابع من مصادر غير حيوية. وفي الوقت الراهن، لا يوجد دليل واحد على وجود أي نشاط حيوي على كوكب المريخ، إلا أن الأبحاث مُستمرة. فنحن نعلم عن كون غاز الميثان مصدرًا للطاقة لشكل من أشكال الحياة الميكروبية.

كما أجرت بعثتان فضائيتان، وهما: كاسيني-هويجنز وفوياجر، أبحاثًا على كوكب زحل. ووجَدَت كلتا المركبتين الفضائيتين أدلة على وجود جزيئات عضوية؛ بما في ذلك غاز الميثان على أقمار كوكب زحل، تيتان وإنسيلادوس (الشكل 2). ويحتوي هذان القمران على كمية ضخمة من المياه والثلج على سطحهما، قد تكون مُماثلة تمامًا للقمم الجليدية القطبية الموجودة على كوكب الأرض. ومن الغريب أن البيانات تُشير إلى أن كلًّا من قمر تيتان وقمر إنسيلادوس بهما مُحيطات من الميثان السائل، والإيثان، والنيتروجين تُشكل بحيرات وأنهارًا مُغطاة بصخور الماء الجليدي.

يوضح الشكل 2 غاز الميثان المكتشف على الكواكب الأخرى في نظامنا الشمسي.

ومن المُمكن أن يُساعدنا استكشاف البيئات القاسية على كوكب الأرض؛ مثل الجُرُف الجليدية القطبية الجنوبية، في فهم منشأ غاز الميثان خارج كوكب الأرض وتطوره. وفي الوقت الراهن، يدرس العلماء كيفية بقاء الميكروبات على قيد الحياة في النُظم البيئية المغطاة بالجليد بشكلٍ دائم، إذ إننا لو تمكنا من فهم دورة غاز الميثان التي تحدُث في البيئات القاسية الموجودة على كوكب الأرض بشكل أفضل؛ سنتمكن من فهم كيفية تواجد عملية توليد غاز الميثان وأكسدته في البيئات القاسية بالكواكب الأخرى. وليس من المُستغرب أن نتنبأ بإمكانية تواجد الكائنات المولدة لغاز الميثان وكذلك المؤكسدة له

بين المخلوقات التي تعيش في الكواكب الأخرى، وأننا نتقاسم هذا الكون مع مجموعة كبيرة من الميكروبات، ولا نعيش به بمفردنا!

المراجع

1. Kopf, A., Schnetzer, J., and Glöckner, F. O. 2016. Marine microbes, the driving engines of the ocean. *Front. Young Minds* 4:1. doi: 10.3389/frym.2016.00001
2. Kasting, J. F. 2004. When methane made climate. *Sci. Am.* 1:80–5. doi: 10.1038/scientificamerican0704-78
3. Conrad, R. 2009. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environ. Microbiol. Rep.* 1:285–92. doi: 10.1111/j.1758-2229.2009.00038.x
4. Taubner, R., Schleper, C., Firneis, M. G., and Rittmann, S. K. R. 2015. Assessing the ecophysiology of methanogens in the context of recent astrobiological and planetological studies. *Life (Basel)* 5:1652–86. doi: 10.3390/life5041652

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 17 أكتوبر 2022

حرره: Angelica Cibrian-Jaramillo

مرشدو العلوم: Maskit Maymon

الاقتباس: Cadena S, Cervantes FJ, Falcón LI and García-Maldonado JQ (2022) دور الكائنات الحية المجهرية في دورة غاز الميثان. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2019.00133-ar

مُترجَم ومقتبس من: Cadena S, Cervantes FJ, Falcón LI and García-Maldonado JQ (2019) The Role of Microorganisms in the Methane Cycle. Front. Young Minds 7:133. doi: 10.3389/frym.2019.00133

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

COPYRIGHT © 2019 © 2022 Cadena, Cervantes, Falcón and García-Maldonado. 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

ADAM، العمر: 13
مرحبًا، اسمي آدم. أعيش مع والدي وأخي الأكبر، ولدي كلب، وسمكة، وطائران. وأنا محب نَهِم للعلوم والتاريخ. وأحب الرسم، والكتابة، والقراءة. ورياضتي المفضلة هي كرة القدم. كما أستمتع بالسباحة في المحيط ولعب ألعاب الفيديو.

المؤلفون

SANTIAGO CADENA
أنا عالم أحياء بحرية مُتخصص في دراسة الكائنات الحية المجهرية البحرية التي تعيش في مياه شديدة الملوحة. كما أنني مهتم حقًّا بعلم الأحياء المجهرية والبيولوجيا الفلكية والتكنولوجيا الحيوية. كما أنني خبير في دراسة دورات غاز الميثان والكبريت في النظم البيئية البحرية. وفي الوقت الراهن، أشارك في بحث يدور حول الكائنات الحية المجهرية الجديدة التي تعمل على تحلُّل النفط. كما ندرُس الميكروبات التي تعيش في غابات المانجروف. وخلاصة القول، أنا مُهتم بدراسة دور الكائنات الحية المجهرية في الطبيعة، واستخدامها المُحتمل لأغراض التكنولوجيا الحيوية. https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Cadena

FRANCISCO J. CERVANTES
أنا مهندس تكنولوجيا حيوية بمعهد سونورا للتكنولوجيا. وحاصل على درجة الماجستير في مجال التكنولوجيا الحيوية من جامعة أوتونوما ميتروبوليتانا، حرم إزتابالابا الجامعي، عام 1998، كما حصلتُ على درجة الدكتوراة في العلوم البيئية من جامعة فاخينينجن (هولندا) عام 2002. وأشغل منصب أستاذ في المعهد الهندسي (معهد علم الأحياء العصبية) التابع للجامعة الوطنية المُستقلة بالمكسيك. كما تتضمن اهتماماتي البحثية العديد من الموضوعات ذات الصلة بالتكنولوجيا الحيوية البيئية وعلم الأحياء المجهرية.
http://www.iingen.unam.mx/es-mx/SitiosWeb/Laboratorios/LIPATA/Personal/Paginas/default.aspx

LUISA I. FALCÓN
أنا عالمة في مجال علم البيئة الميكروبي بالجامعة الوطنية المُستقلة بالمكسيك، وشغوفة بتنوع البكتيريا والكائنات الأولية في البيئة. كما أُحب كيفية تفاعل الميكروبات مع بعضها البعض لاستكمال قُدراتها اللازمة لإتمام عملية الأيض؛ مما يُفسح المجال لوجود المجتمعات والأنظمة البيئية. https://sites.google.com/a/ciencias.unam.mx/laboratorio-de-ecologia-bacteriana-instituto-de-ecologia-unam/

JOSÉ Q. GARCÍA-MALDONADO
أنا عالم أحياء بحرية من جامعة باجا كاليفورنيا سور المستقلة بالمكسيك. وحاصل على درجتي الماجستير والدكتوراة في استخدام الموارد الطبيعية وإدارتها وحفظها من مركز البحوث البيولوجية (مركز البحوث البيولوجية في الشمال الغربي). وبدايةً من شهر سبتمبر من عام 2014، شغلتُ منصب باحث في المجلس الوطني للعلوم والتكنولوجيا (كوناسيت)، بقسم الموارد البحرية في مركز البحوث والدراسات المُتقدمة في المعهد الوطني

للفنون التطبيقية (سينفيستاف) في مدينة مَارِدَة، المكسيك. وتتصل أبحاثي بعلم البيئة والتكنولوجيا الحيوية للمجتمعات الميكروبية المعقَّدة المتواجدة في البيئات البحرية والقاسية.
https://www.mda.cinvestav.mx/Investigaci%C3%B3n/DepartamentodeRecursosdelMar/PersonalAcad%C3%A9mico/Investigadores/JGarcia.aspx
*jose.garcia@cinvestav.m

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

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