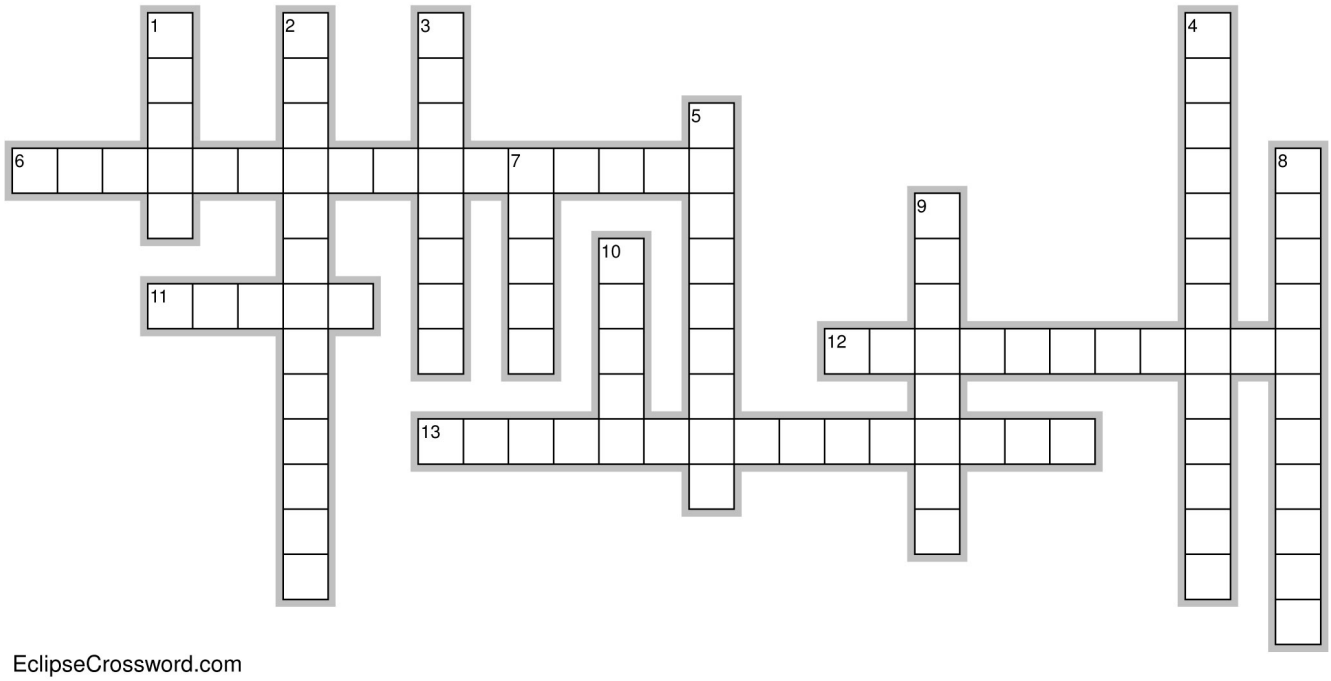
Mecanoquímica

05/10/2025

MECANOQUÍMICA

A. REQUENA & VALLE DE ELDA, © 2025



EclipseCrossword.com

HORIZONTALES

6. El uso de molinos de bolas, para inducir reacciones químicas mediante energía mecánica, puede parecer un procedimiento rudimentario en comparación con hornos, disolventes y técnicas de este tipo, modernas.
11. Un molino dede este tipo, consiste en un cilindro giratorio parcialmente lleno de bolas de acero.
12. La mecanoquímica se opone a la visión clásica que concibe a ésta como el factor indispensable para superar la barrera de activación.
13. La del procedimiento con molinos de bolas giratorios surgió en el siglo XIX en el contexto de la metalurgia y la minería.

VERTICALES

1. La técnica del molino de bolas, puede discriminar selectivamente éstos, dentro de una mezcla, lo que la convierte en un posible método de purificación y captura de CO2 a gran escala.
2. Srikanth Mateti en la Universidad de Deakin, al usar un molino de bolas para combinar estos compuestos con nitruro de boro hexagonal, conocido como "grafeno blanco", observó que el gas desaparecía del sistema.
3. El principio central del molino de bolas, es que la energía mecánica puede sustituir, en ciertos casos, al calor o a los disolventes como fuerza motriz de una de éstas.
4. Rama de la Química, que ha resurgido como un campo de creciente interés.
5. Las condiciones en un molino de bolas equivalen a pequeños "microhornos mecánicos" que lo hacen con procesos de síntesis imposibles en condiciones convencionales.
7. El proceso ingherente al molino de bolas, permite almacenar hidrocarburos, dióxido de carbono, amoníaco e hidrógeno en forma de éste, sólido estable y transportable.
8. El molino de bolas en una, de almacenamiento energético con implicaciones para la descarbonización, la agricultura y la economía del hidrógeno.
9. La mecanoquímica puede definirse como el uso de energía mecánica para inducir reacciones de este tipo.
10. La mecanoquímica se proyecta como un pilar de la química de este tipo, y de la aventura espacial.

a química contemporánea atraviesa un proceso de transformación que no se limita a la síntesis de nuevas moléculas o al diseño de materiales avanzados, sino que involucra también los métodos mismos de reacción. En este contexto, la mecanoquímica ha resurgido como un campo de creciente interés, tras décadas de relativa marginalidad en comparación con la química de disoluciones o la química de alta temperatura.

El uso de molinos de bolas, que es una tecnología del siglo XIX, para inducir reacciones químicas mediante energía mecánica, puede parecer un procedimiento rudimentario en comparación con hornos, disolventes y técnicas espectroscópicas modernas. Sin embargo, hoy sabemos que este método simple es eficiente, sostenible, escalable y sorprendentemente versátil. Desde el almacenamiento de gases hasta el reciclaje de baterías, pasando por la síntesis de fármacos y materiales para energías renovables, la mecanoquímica se proyecta como un pilar de la química verde y de la aventura espacial.

La mecanoquímica puede definirse como el uso de energía mecánica para inducir reacciones químicas. Su antecedente más arcaico es el mortero de cocina, empleado durante milenios para pulverizar y mezclar sólidos. Sin embargo, la sistematización del procedimiento con molinos de bolas giratorios surgió en el siglo XIX en el contexto de la metalurgia y la minería.

Un molino de bolas consiste en un cilindro giratorio parcialmente lleno de bolas de acero. Al rotar, estas colisionan entre sí y contra las paredes del recipiente, transmitiendo energía mecánica que rompe enlaces químicos y favorece la formación de nuevas estructuras moleculares. El principio central es que la energía mecánica puede sustituir, en ciertos casos, al calor o a los disolventes como fuerza motriz de una reacción. De este modo, la mecanoquímica se opone a la visión clásica que concibe la temperatura como el factor indispensable para superar la barrera de activación.

Hasta hace unos quince años, la mecanoquímica era un campo minoritario, con apenas publicaciones científicas y en la actualidad es un campo floreciente con varios centenares de artículos anuales. El incremento puede fundamentarse en debers a varios factores como la sostenibilidad ambiental, dado que la mecanoquímica reduce el uso de disolventes y la generación de residuos; la eficacia comprobada, con resultados reproducibles a escala de laboratorio e industrial o la versatilidad de aplicaciones, que van desde la captura de gases hasta la síntesis de materiales para energías limpias.

Uno de los descubrimientos más sorprendentes en el área fue realizado por el investigador Srikanth Mateti en la Universidad de Deakin. Al usar un molino de bolas para combinar hidrocarburos con nitruro de boro hexagonal, conocido como “grafeno blanco”, observó que el gas desaparecía del sistema. Tras descartar errores técnicos, concluyó que el material estaba absorbiendo completamente el gas. El proceso permite almacenar hidrocarburos, dióxido de carbono, amoníaco e hidrógeno en forma de polvo sólido estable y transportable. Al calentar el compuesto, el gas se libera. De esta forma, se convierte el molino de bolas en una herramienta de almacenamiento energético con implicaciones para la descarbonización, la agricultura y la economía del hidrógeno. Más aún, la técnica puede discriminar selectivamente gases dentro de una mezcla, lo que la convierte en un posible método de purificación y captura de CO□ a gran escala.



Otra esfera de aplicaciones se localiza en el reciclaje de baterías y centrado en la economía circular. Las baterías de iones de litio plantean un desafío crítico por la toxicidad de sus componentes y la dificultad de reciclarlas. Los métodos tradicionales, pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos, requieren altas temperaturas o disolventes corrosivos. El equipo de Oleksandr Dolotko en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) ha demostrado que, al añadir cátodos de batería a un molino de bolas junto con aluminio, se genera un óxido de litio soluble en agua. Esto permite extraer litio de forma selectiva con lixiviación suave a temperatura ambiente, reduciendo costes y riesgos ambientales.

Además, metales críticos como cobalto, níquel y manganeso también se transforman en compuestos más fáciles de recuperar, reforzando el papel de la mecanoquímica en la economía circular y en la transición energética.

La mecánica de las reacciones tras la mecanoquímica

consiste en que los choques entre las bolas y las paredes del recipiente producen energía de impacto, capaz de romper enlaces covalentes, conllevando el establecimiento de una presión localizada, que induce cambios de fase de lo que deriva una fricción y corte, que generan superficies reactivas y se produce una deformación plástica, que facilita la movilidad atómica. Así, las condiciones en un molino de bolas equivalen a pequeños "microhornos mecánicos" que estimulan procesos de síntesis imposibles en condiciones convencionales. Esta combinación convierte a la mecanoquímica en un laboratorio natural de reacciones fuera de equilibrio, donde pueden observarse fases intermedias, catalizadores transitorios y compuestos inestables.

La lista de aplicaciones crece rápidamente tanto en el ámbito de la energía renovable, concretamente en la síntesis de perovskitas para celdas solares de nueva generación hasta en farmacología en producción de fármacos con menos pasos sintéticos y sin disolventes tóxicos, como en la producción de imanes avanzados, en la creación de materiales magnéticos con estructuras inéditas e incluso en el espacio exterior en los procesos de generación de agua y oxígeno a partir de silicatos y materiales lunares o marcianos. En todos los casos, la mecanoquímica combina simplicidad tecnológica (molinos relativamente baratos) con sofisticación molecular (nuevas rutas de síntesis).

Uno de los aspectos más atractivos del campo es su sintonía con los principios de la química verde en las operaciones a temperatura ambiente, asi como en la eliminación o reducción drástica de disolventes orgánicos, y en los procesos más cortos y de mayor rendimiento y también en el menor riesgo de contaminación y generación de residuos. En un contexto donde la industria química consume enormes cantidades de energía y recursos, la mecanoquímica ofrece un modelo más sostenible, alineado con los objetivos globales de reducción de emisiones y eficiencia energética.

A pesar de los avances, persisten desafíos técnicos y conceptuales, como la escalabilidad, porque aunque la reproducibilidad es alta, se requieren diseños industriales de molinos que minimicen riesgos como la ignición de polvos metálicos. También hay que avanzar en la comprensión teórica, porque aún no se entiende completamente cómo las fuerzas mecánicas se traducen en reacciones químicas a escala molecular, como el control de parámetros, como la velocidad, presión, temperatura y geometría de las bolas que deben optimizarse para cada reacción.

Los investigadores trabajan con rayos X emitidos en a radiación de sincrotrón y con espectroscopía Raman para observar reacciones en tiempo real dentro de los molinos, lo que permitirá diseñar procesos más predecibles y eficientes. En el largo plazo, la previsión incluye el uso de reactores mecanoquímicos en colonias espaciales para fabricar materiales a partir de recursos locales, sin necesidad de transportar disolventes desde la Tierra.

Así pues, la mecanoquímica ilustra un fenómeno recurrente en la historia de la ciencia, ya que son tecnologías antiguas que adquieren nueva vida al integrarse con necesidades y paradigmas modernos. Lo que comenzó como una técnica de molienda rudimentaria hoy se proyecta como una solución clave para la sostenibilidad ambiental, la transición energética y la exploración espacial.
El humilde molino de bolas, heredero del mortero de cocina, se ha transformado en un reactor del futuro. Capaz de capturar gases, reciclar metales, sintetizar fármacos y crear materiales cuánticos, representa la convergencia entre la simplicidad mecánica y la sofisticación molecular.

El renacimiento de la mecanoquímica no solo abre nuevas rutas para la química, sino que cuestiona también la manera en que entendemos las relaciones entre energía, materia y sostenibilidad. El siglo XXI podría consolidarla como una disciplina central en la ciencia de materiales y en la industria química global. La mecanoquímica supone el renacimiento de una ciencia antigua con futuro cuántico y espacial.

