

Todo lo que brilla
de IRENE DEL REAL

© 2023 de la obra por IRENE DEL REAL
© 2023 de la primera edición por LA POLLERA EDICIONES

Primera edición: octubre 2023

ISBN: 978-956-6267-10-2

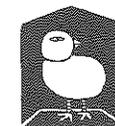
Edición: Daniel Campusano
Asistencia editorial: Pilar Cárdenas
Corrección: David Valbuena
Diseño: Pablo Martínez
Diagramación: Antonia Núñez
Foto de solapa: Andrés Jordán

LA POLLERA EDICIONES
www.lapollera.cl
ediciones@lapollera.cl
Instagram: @lapolleraediciones

TODO LO QUE BRILLA

*Cómo los
metales
han
formado
nuestra
historia*

IRENE DEL REAL



Capítulo 5

Hoy y mañana: la necesidad de un nuevo paradigma de consumo

Tanto tiempo ha pasado desde que el ser humano empezó a ocupar el cobre, el primer metal de metales, y aquí estamos, en una situación interesante, compleja, desafiante. Pasamos de ocupar solo uno a transformar decenas de metales diferentes y, de paso, generar uno de los grandes dilemas del presente. Porque el bienestar de gran parte de la sociedad ha sido posible gracias al uso de materias primas no renovables, pero, por otro lado, ya no podemos seguir negando el impacto que esto ha generado en el planeta.

Pensemos en el protagonismo que los metales tienen en la cotidianidad que compartimos, en el estilo de vida que decidimos llevar, porque para planear el futuro es esencial saber cuánto estamos consumiendo tanto individual como colectivamente. De la misma forma en que hemos ido avanzando hacia una alimentación más saludable y consciente, deberíamos empezar a pensar en lograr un consumo de materia prima más sustentable, sostenible en el tiempo, en especial aquellas personas que creen que reflexionar al respecto implica asumir un horizonte con cero extracción de metales. Porque queramos o no, plantear un futuro sin metales es imposible, pero sí podemos cuestionarnos

las formas y evaluar qué tan necesario es el gasto al que, por ahora, estamos acostumbrados.

Nuestro consumo

Cada cierto tiempo, el Servicio Geológico de Estados Unidos publica las cifras de consumo de metal por parte de la población, que si bien corresponden al gasto de una persona que habita dicho país (que, por supuesto, no es el mismo de alguien que vive en Chile o en una zona rural de China o África) sirven para dimensionar la magnitud y presencia de este recurso en nuestra existencia.

Si revisamos los principales metales, considerando los números más actuales (2021), una persona consume en promedio las siguientes cantidades durante toda su vida:

400 kilogramos de plomo

207 kilogramos de zinc

430 kilogramos de cobre

1221 kilogramos de aluminio (más de una tonelada)

9818 kilogramos de hierro (casi diez toneladas)

Cifras siderales, pero ¿por qué tanto? ¿En qué ocupamos este material?

La respuesta es que existen metales «de especialidad» utilizados para fabricar tecnología avanzada, otros menos abundantes como cromo, cobalto, manganeso y tungsteno a los que se les dan usos específicos, y algunos que, diariamente, se roban el protagonismo como el aluminio, cobre, hierro, zinc, plomo, mercurio, níquel y titanio.

Revisemos dónde encontramos algunos de los metales más presentes y en qué momentos aparecen en nuestra vida.

Cobre

El cobre es mi metal favorito. Símbolo patrio de Chile y de mi corazón. Además de ocuparlo tanto hoy, ha estado presente

desde el inicio de los tiempos. Su maleabilidad lo convierte en un estupendo material para fabricar tuberías (aunque el PVC lo anduvo reemplazando) y cablerío eléctrico porque es un muy buen conductor de electricidad. También se usa en instrumentos médicos e infraestructura por su alta capacidad antimicrobiana (de hecho, para que los viajeros no anduviésemos repartiendo gérmenes por todos lados, las antiguas casetas de policía del ex terminal internacional del aeropuerto de Santiago estaban hechas en parte de cobre). Al ser resistente a la corrosión es usado comúnmente para utensilios de cocina, incluidos los vasos del trendy moscow mule.

Tampoco podemos olvidar que el cobre se usa para hacer aleaciones como el bronce, la primera de la historia y que aún goza de popularidad a nivel global. La joyería de plata tiene un poco de cobre en su mezcla, los destornilladores, llaves inglesas o alicates están hechos de una aleación de cobre con berilio. Y también las cuerdas de guitarra, las trompetas, los cuernos o saxofones contienen en gran parte aleaciones con cobre.

Hierro

Similar al cobre, ha estado al pie del cañón durante todo nuestro crecimiento como sociedad y, aunque costó «domesticarlo», es un metal fiel que no ha perdido relevancia. El hierro es dúctil, maleable, asequible, abundante, reciclable, no tóxico, resistente a la oxidación, conductor eléctrico a altas temperaturas y fácil de moldear.

Hierro, esta es una carta de amor para ti. Porque te ocupamos en muchas industrias, incluyendo la construcción (en forma de acero), medios de transporte (en motores, cilindros, caja de cambios y otros), ingeniería aeroespacial y maquinarias, y logras resistentes aleaciones con otros elementos como el carbono y el níquel para formar acero inoxidable, que se ocupa ¡para lo que queramos! El hierro nos rodea y sostiene.

Zinc

Otro metal versátil que ocupamos en nuestras vidas, en industrias diversas, gracias a su menor costo en relación a metales duraderos como el oro. El zinc tiene el tremendo talento de ser muy resistente a la corrosión, lo que lo hace ideal para objetos que tengan que resistir la humedad del exterior, o incluso el agua de mar (cosas como clavos para afirmar techos o las partes metálicas de un bote: casco, mástiles, postes).

Su gran talento para impedir la oxidación lo hace esencial en la fabricación de hierro y acero galvanizado. Junto con esto, a los neumáticos de los autos se les agrega un 20 por ciento de óxido de zinc para hacerlos más fuertes y resistentes a altas temperaturas, y productos dermatológicos como medicamentos para bajar las espinillas, cremas para la picazón y champú anticaspa también contienen este metal.

El zinc puede ser encontrado en monedas, tarjetas de crédito y en los sellos fluorescentes de los billetes, hechos de óxido de zinc.

Plomo

Al contrario del aluminio, es uno de los metales de mayor peso, pero es suave, maleable y tiene un punto de fusión bastante más bajo comparado con otros. Aunque lo ocupamos desde la época de los romanos, su uso actual se centra en productos específicos como las baterías de plomo ácido (aka, la batería del auto).

Además, en los laboratorios se utiliza para contener líquidos corrosivos como el ácido sulfúrico y su aleación con el cobre se destina a rodamientos de bolas (pieza que se ocupa en ventiladores de computador, relojes, locomotoras y hasta en el yo-yo).

Plata

Como sabemos, a lo largo de la historia la plata se usó para la fabricación de monedas debido a su brillo, color, maleabilidad, ductilidad y resistencia a la corrosión. En la actualidad es un componente

integral de los interruptores que prenden nuestros aparatos electrónicos, se ocupa en circuitos y elementos de audio y video y, al ser un metal muy sensible a la luz, es también una pieza clave de las láminas cubiertas en cristales de haluro de plata que la fotografía tradicional expone a la luz para crear figuras o imágenes vívidas.

Encontramos plata en los espejos retrovisores de los autos (se usa para descongelarlos en invierno), a los antiguos devezés se les ponía una capa de plata para hacerlos resistentes a la oxidación, y por sus propiedades antimicrobianas —que permiten evitar infecciones— el cloruro de plata es un ingrediente esencial en desodorantes, vendas, cremas, geles, agujas, escápulas y tijeras utilizadas para realizar cirugías. A todo esto debemos sumarle el rol que cumple en el mundo de las baterías, puesto que las baterías de óxido de plata duran hasta un 40 por ciento más que las de litio y son usadas en relojes, auriculares y aparatos electrónicos pequeños.

Molibdeno

Originalmente confundido con el grafito y el plomo, el molibdeno no se identificó hasta finales del siglo XVIII. Solemos encontrarlo como subproducto en pórfidos de cobre o depósitos de tungsteno y su principal uso se da en aleaciones de acero, en especial en aquel que se ocupa para fabricar ollas y utensilios de cocina en general.

Piezas importantes de los autos —como las cabezas de cilindros y parte de los motores— están hechas con este metal, lo contienen lámparas incandescentes, aparatos electrónicos y, gracias a su fuerza, también se usa para hacer cinturones de seguridad.

Mercurio

Conocido por ser un metal tóxico y el único que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido, solía usarse como parte de las aleaciones con las que se fabricaban amalgamas dentales, esas tapaduras feas color plateado oscuro que tenemos algunos (30+) en los dientes.

En su forma gaseosa, el mercurio se utiliza para hacer lámparas de neón, y gracias a que cuenta con una expansión termal que se mantiene constante en un rango amplio de temperatura es un compuesto fundamental en los termómetros (lo que me ayuda a entender por qué mi mamá siempre evitaba prestárnoslo cuando niños: le daba miedo que lo rompiéramos y jugáramos con el mercurio que tenía adentro).

Níquel

El níquel está muy presente en nuestras vidas y, aunque es el quinto metal más común en la Tierra, es difícil encontrarlo en estado nativo. El níquel es muy fuerte, dúctil y resistente a la corrosión, lo que lo hace parte de la familia de metales que se usan para formar aleaciones de acero.

Al ser fuerte y resistente a la corrosión, se usa para cables, tuberías y láminas de acero, y también en baterías híbridas y de litio. Si el níquel se une con el cromo se crea el metal conocido como nicromo, que se utiliza para la calefacción ya que es un metal con una alta resistencia, por ende, cuando se le aplica una alta energía eléctrica esta se convierte en una alta energía térmica.

Titanio

Conocido por su fuerza, resistencia y baja densidad, este metal se usa para un amplio rango de industrias que van desde la joyería hasta la aeroespacial, y su valor está dado por la alta resistencia que tiene a la corrosión y su destacado aguante ante los embates del agua de mar.

Como el titanio conecta bien con los huesos humanos y de otros seres vivos, parte de su uso se centra en aplicaciones médicas, en específico para reemplazar articulaciones (en caderas y otros) y fabricar implantes de dientes. Asimismo, sus nanopartículas se utilizan para hacer bloqueador solar en crema porque previenen que la luz UV alcance directamente nuestra piel.

Son pocos los metales que quedan por describir en detalle. Junto al aluminio —del que ya hablamos en extenso— estos son lo que empleamos de manera diaria y en mayor cantidad. Existen otros, como los críticos (cuya oferta es limitada tanto en cantidad como en ubicación), que no se requieren en grandes proporciones, pero sí para cosas esenciales y son vitales en el camino hacia la transición energética.

Con todo esto en mente, espero que ese primer intento de imaginarnos la existencia sin metales sea más simple de resolver: basta con restarles a nuestras vidas todas las cosas de las que forman parte. Cuando pienso en ellos se me vienen un sinnúmero de cosas a la cabeza, como el reemplazo de cadera que tuvo que hacerse mi mamá hace unos años que no hubiese sido posible sin titanio y que hoy la tendría postrada o en silla de ruedas. Por suerte, las posibilidades fueron otras y sigue llevando una vida de lo más normal (de hecho, en unas semanas se va de vacaciones con mi papá y sé que tienen planificadas un montón de caminatas). Son tantas las cosas que tenemos gracias a los metales y es tan fácil pasar por alto este hecho, que no resulta extraña la dificultad para conciliar nuestro uso con la actividad industrial de la minería. Por eso el primer paso para enfrentar los desafíos del presente y futuro es ser conscientes del consumo a nivel social y personal.

El elefante blanco

Desde hace algún tiempo vivimos —al menos bastante de la gente que conozco y yo— medio con la sensación o preocupación de que el mundo se está yendo a pique. Vemos que el clima de nuestras ciudades no es el mismo al de la niñez o juventud y los cambios en las estaciones nos tienen confundidos. Una gran amiga que dirige talleres de escritura creativa, me contó que siempre les pide a sus alumnos redactar un relato autobiográfico basado en alguna pieza de escritura personal de la infancia (como un

diario de vida). Cuando una de las alumnas encontró su agenda de la época escolar se sorprendió de que tenía escrito, como algo normal, que había llovido seis días de corrido... en Santiago. En el curso compartieron su impacto porque, sí, para los que estamos cercanos a las cuatro décadas no es raro pensar en la capital de la niñez y recordarla llena de semanas lluviosas, un escenario muy distinto al actual. He pasado buena parte de mi vida en la zona central de Chile y cada vez que llueve es un evento; se cierran las calles y salimos antes del trabajo. Nuestros compatriotas sureños se rien de lo que se genera porque es noticia nacional.

Lo triste es que la falta de lluvia se vincula de manera directa con la escasez hídrica y, también, con los incendios forestales que se suceden año tras año y que aún no sabemos prevenir ni manejar adecuadamente. Pero ¿por qué nuestra realidad se parece cada vez más a una película gringa con fenómenos climáticos apocalípticos? La respuesta es más o menos simple, pero la solución no. No por ahora. La súper bonanza de avances industriales y tecnológicos no ha salido gratis. Desde que empezamos a quemar carbón (o, como proponen algunos, a explotar y procesar la plata en épocas coloniales) comenzamos a emitir sustancias no inocuas a nuestra atmósfera que hoy nos pasan la cuenta. Una crisis climática de la que, creamos o no, podríamos salir con la ayuda de los metales.

El famoso cambio climático es causado por el incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera que, como bien dice su nombre, generan efectos similares a los producidos por la estructura de un invernadero: elevar la temperatura del ambiente —en este caso a nivel atmosférico, en la superficie de la Tierra— y mantenerlo temperado, evitando que se hiele en invierno. Los GEI absorben y emiten radiación dentro de un rango infrarrojo, provocando que la luz solar caliente el suelo terrestre hasta el punto de que este emita rayos u ondas caloríficas que luego son absorbidas en la atmósfera por los mismos. Los principales gases de efecto invernadero que encontramos en la atmósfera son el vapor de agua

(H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nítrico (N₂O) y el ozono (O₃) que, en su justa medida, nos sirven (de hecho, sin ellos nuestro planeta tendría una temperatura promedio de -18 °C y toda el agua estaría en estado sólido).

El problema entonces no son los gases de efecto invernadero en sí sino su exceso, en especial de CO₂. Desde el inicio de la Revolución industrial, la actividad humana ha incrementado un 45 por ciento la concentración de este GEI en la atmósfera, pasando de 280 ppm en 1750 a 400 ppm en 2015, y sigue subiendo. El aumento se debe principalmente por el CO₂ se emite al quemar combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural, que son el pilar del desarrollo industrial de los siglos XIX y XX, y también a la deforestación, erosión del suelo y crianza animal, puesto que las plantas lo absorben a través de la fotosíntesis y la población rumiante —vacas, búfalos, ovejas y cabras— que es buena para exhalar metano gracias a un proceso interno de fermentación. El exceso de gases de efecto invernadero en la atmósfera está llevando a que nuestra temperatura promedio suba y, aunque sé que algunos que conozco estarían felices con unos grados más de calor en la vida (te hablo a ti, papá), es mi deber informar que el alza tiene efectos dañinos para múltiples ecosistemas, la biodiversidad, e incluso hace peligrar el futuro de los seres humanos en el planeta. O sea, es un problema serio.

Descrito de manera más precisa (así como para generar el pánico que merece), el cambio climático tiene un impacto transversal en nuestra sociedad que va de lo económico a lo sanitario y medioambiental. Respecto a lo primero, los cambios en los patrones climáticos producen sequías e inundaciones que son disruptivas para la producción agrícola, generando problemas en la producción de alimentos que repercuten directamente en los precios de estos. Además, mientras las sequías son caldo de cultivo para los incendios forestales —y eso en Chile lo tenemos claro—, las inundaciones generan grandes daños estructurales

en caminos, edificaciones y otros (para qué hablar de eventos extremos como huracanes y tornados, que pueden destruir por completo hogares y ciudades). Todo esto tiene un costo económico y humano enorme, que solo empeora a medida que los efectos del cambio climático se hacen más severos.

En cuanto a la salud humana, las cada vez más frecuentes olas de calor pueden producir deshidratación, insolación y llevar a la muerte, y la contaminación genera daños respiratorios que pueden derivar en afecciones como asma o bronquitis. Estos mismos cambios en los patrones propician la propagación de enfermedades contagiosas tipo malaria o dengue, que son transmitidas por mosquitos que habitan en zonas tropicales de mayores temperaturas, y afectan de manera más severa a países de menores ingresos o en vías de desarrollo cuyo acceso a un buen sistema de salud es limitado.

El alza de temperatura que estamos viviendo causa también graves daños medioambientales, como el derretimiento del hielo en el ártico y la Antártica y posterior aumento del nivel del mar, que altera las corrientes del océano hasta hacer perder su hábitat a la fauna del lugar y modifica la distribución de las poblaciones de peces, cosa que de paso afecta a la industria pesquera. Estos cambios de temperatura y precipitación pueden llevar a transformaciones en la vegetación que se traduzcan en pérdida de biodiversidad y libre acceso de especies invasoras; un costo altísimo tanto para la naturaleza como para la especie humana, puesto que cada una de estas alteraciones condiciona cosas tan básicas como la disponibilidad de agua y aire limpio para subsistir.

Me atrevería a decir que el cambio climático es el problema más grave que tenemos como humanidad en este momento. Pero ¿cuándo nos empezamos a dar cuenta del tremendo lío en el que nos metimos? La respuesta es controversial, una historia medio a lo David y Goliat que demuestra la dificultad del desafío que tenemos por delante.

En 2015, la plataforma *Inside Climate News* publicó un artículo —que luego fue abordado por la revista *Scientific American*— que prende todas las alarmas de teorías conspirativas que se nos puedan ocurrir. Su idea central es que la gigante transnacional petrolera Exxon sabía desde fines de la década de los setenta que iba a ocurrir el cambio climático y deliberadamente decidió tomar un rol activo en desinformar y no mencionar este «pequeño» detalle hasta décadas después. Por supuesto, Exxon niega todo lo que les voy a contar, pero al informarnos debemos tener presentes las desorbitantes ganancias que estas y otras petroleras se arriesgaban a perder si la población era consciente del peligro atmosférico que genera su emisión de CO₂.

El reportaje fue el resultado de meses de investigación en los que se entrevistó a múltiples ex empleados que trabajaron en Exxon durante los setenta y ochenta, época en la que la empresa contrató a científicos de primer nivel y tuvo su propio programa de investigación para muestrear CO₂ de la atmósfera y modelar el clima para el futuro. En 1977, uno de los investigadores senior llamado James Black, les informó a sus empleadores que había acuerdo entre los científicos de que la manera más posible en que el ser humano podía influir o perturbar clima del planeta era a través de la liberación de CO₂ generada por la quema de combustibles fósiles, y que tenían alrededor de diez años para revertir cualquier potencial daño. Una década después, profesionales de la NASA advirtieron al gobierno estadounidense sobre el calentamiento de la Tierra.

La reacción de Exxon fue cuestionar la ciencia, afirmar que faltaban argumentos para lo que se estaba aseverando, y liderar y financiar grupos cuyo objetivo era poner en tela de juicio la evidencia científica. Fue tal el poder y la llegada mediática de la petrolera que, en 1998, logró evitar que Estados Unidos firmara el protocolo de Kyoto para el control de gases de efecto invernadero. Más de la mitad de las emisiones totales de estos gases ha ocurrido después

de la década de los ochenta, cuando Exxon ya tenía conocimiento del desastre que se acercaba, y Greenpeace estima que la petrolera ha gastado más de treinta millones de dólares en *think tanks* para promover el negacionismo frente a la crisis. Lo más probable es que nunca tengamos una respuesta completa de parte de Exxon, pero lo que sí está claro es que las empresas petroleras podrían haber sido más transparentes sobre sus conocimientos respecto al cambio climático y haber pasado a formar parte de la solución en lugar de mantenerse como parte fundamental del problema.

No quiero ser demasiado catastrofista con el escenario que enfrentamos ahora, porque vienen nuevas generaciones y, a menos de que a ciertas potencias les baje la locura y empiecen a tirar bombas atómicas, me parece que a la especie humana le queda tiempo en el planeta. A grandes rasgos creo que la solución tiene dos partes lógicas: ver si podemos sacar de la atmósfera algo del exceso de CO₂ y dejar de emitirlo en las cantidades que lo hemos estado haciendo. Remover parte del CO₂ —y de otros gases de efecto invernadero— es una de las diversas estrategias que se han propuesto para combatir el cambio climático, que en su terminología más formal se conoce como «secuestro de carbono». La idea es un gran ejemplo de cómo podemos ocupar la naturaleza a nuestro favor, ya que la mayoría de las técnicas de secuestro de carbono se basan en reacciones químicas que ocurren de forma natural en la tierra. Alrededor de un 45 por ciento del CO₂ que emitimos los humanos queda atrapado en la atmósfera; y mediante el secuestro, que puede ocurrir de manera biológica o geológica, se eliminaría el exceso que queda pegado. Si bien parte del proceso ocurre siempre por ser esencial en el funcionamiento del planeta, se puede fomentar artificialmente para aumentar la cantidad de gases eliminados.

El secuestro de carbono biológico ocurre, de manera indirecta o pasiva, cuando este es almacenado en ambientes naturales como bosques, praderas, suelos, océanos y otros cuerpos

de agua: las plantas hacen fotosíntesis y a través de ella toman carbono de la atmósfera para liberar oxígeno, secuestrando el GEI de manera natural. Esto implica que, mientras más bosques tengamos, mayor va a ser el secuestro de carbono y viceversa; y a medida que deforestamos bosques o desarrollamos una agricultura muy intensa, perdemos capacidad para retener el carbono de la atmósfera.

Se estima que hasta un 25 por ciento de todas las emisiones anuales de CO₂ son secuestradas por bosques y otras formas vegetales como praderas o pastizales. El suelo también cumple un rol esencial, ya que mediante pantanos y turberas captura CO₂ y forma carbonatos que pueden ir juntándose durante miles de años, hasta mezclarse con otros elementos como el calcio o el magnesio (lo que a su vez hace bastante peligroso el drenaje de pantanos o turberas, porque al secarse pueden liberar el CO₂ que vienen almacenando por siglos).

El océano, los ambientes acuáticos o de grandes cuerpos de agua también hacen lo suyo como secuestradores, ya que 25 por ciento del CO₂ que emitimos cada año queda en sus capas superiores, donde reacciona con moléculas de agua para formar ácido carbónico. La solubilidad del CO₂ aumenta a medida que la temperatura del agua baja, y la circulación termohalina (aquella que se rige por la temperatura, densidad y salinidad de las aguas) mueve el CO₂ disuelto hacia otras más frías donde es «consumido» por organismos marinos que hacen fotosíntesis. De todas maneras, debemos tener presente que si abusamos de este increíble rol que juega el océano y secuestramos CO₂ en demasía, el exceso de ácido carbónico formado va a acidificar el agua y con eso se pondrá en riesgo la biodiversidad que depende de aguas no acidificadas.

Cuando hablamos de procesos naturales no podemos dejar atrás el esencial papel que cumple la geología al almacenar CO₂ dentro de formaciones rocosas en profundidad, un proceso

principalmente artificial por medio del que se secuestra CO₂ de la superficie y, una vez convertido en fluido, se inyecta vía tubería a una formación geológica profunda que cuente con la porosidad, permeabilidad y geometría ideal para poder guardarlo. Una vez ahí, el CO₂ puede quedar atrapado en los poros de las rocas o precipitar hasta formar minerales carbonatados. Un método directo desarrollado por nosotros los humanos. En la actualidad existen grandes proyectos de secuestro de carbono que se basan en él, en especial en Estados Unidos donde incluso las mismas emisoras de CO₂ lo han puesto en práctica (un buen ejemplo es la contaminante industria del acero, que ha recurrido al secuestro geológico para moderar sus altas emisiones). En octubre de 2022 actores relevantes de la industria de la minería y de la fabricación de acero —entre ellos Mitsubishi y BHP— firmaron un acuerdo para implementar el secuestro de CO₂ en sus operaciones, con el objetivo de mitigar las emisiones y en el futuro alcanzar un proceso industrial carbono neutral, con cero contaminación a la atmósfera.

Las rocas no solo tienen la capacidad de secuestrar GEI a través de su porosidad, sino que a través de la carbonación mineral también pueden fomentar reacciones químicas que precipiten el CO₂ suelto en la atmósfera en minerales carbonatados. Este proceso puede ocurrir de manera natural cuando el CO₂ interactúa con rocas volcánicas de composición basáltica (bajas en sílice), que al contener cantidades importantes de óxido de magnesio y calcio pueden reaccionar con el CO₂ precipitando carbonatos. Aunque la carbonación mineral se produce de manera natural, el proceso puede ser acelerado por el ser humano inyectando CO₂ a rocas volcánicas basálticas y puede usarse en relaves mineros de depósitos hospedados en este tipo de roca. De hecho, algunas operaciones disminuyen bastante su emisión de CO₂ fomentando la carbonación mineral dentro de sus relaves, pero para que esto ocurra es imprescindible contar con rocas volcánicas basálticas asociadas y esto no siempre es posible.

Por último, el secuestro de carbono también se ha empezado a utilizar para intentar fabricar grafeno, un alótropo del carbono con una estructura molecular similar a la del diamante o el grafito. El grafeno es un material con excelentes características de conducción eléctrica y termal, cinco veces más ligero que el aluminio y doscientas veces más resistente que el acero. O sea, un súper material. Fue creado en 2004 y desde entonces su uso se ha masificado. Los primeros resultados del secuestro de carbono para su fabricación son prometedores y la idea es poder crear, a partir de este, materiales o químicos que puedan ser usados y generen ganancias monetarias (y es que, como buenos humanos que somos, creamos soluciones que también generan réditos u oportunidades de negocio, lo que me hace sospechar que podría ser un éxito a corto o mediano plazo).

Todas las propuestas que tienden a remover el exceso de CO₂ de la atmósfera hacen que vaya viento en popa lo de solucionar el cambio climático, pero poco se puede hacer sin el segundo eslabón: dejar de emitir CO₂ en exceso, o al menos llegar a ser una sociedad carbono neutral que emite la cantidad justa que es secuestrada de forma natural por el planeta, sin agregar CO₂ extra a la atmósfera. Es aquí donde está el desafío más grande.

Sabemos que la primera medida para dejar de producir CO₂ es disminuir la quema de combustibles fósiles, pero ¿cómo podemos mantener nuestro estilo de vida si sin ellos nos quedamos sin energía? Y ¿qué ocurriría con los millones de personas que todavía no cuentan con electricidad para sortear las tareas básicas del día? ¿Les negaríamos el desarrollo en pos de un mundo más sustentable? Sé que muchos aportamos desde nuestras veredas, ya sea dejando de ocupar bolsas de plástico, procurando comer menos carne o reutilizando, pero todo eso es un pelo de la cola si lo ponemos en una balanza con los efectos de la quema de combustibles fósiles de las grandes industrias.

Una de las mayores dificultades de la lucha contra el cambio climático son las barreras políticas y sociales que existen al exigir que se controlen las emisiones de CO₂. Muchos países, en particular aquellos que dependen en gran medida de los combustibles fósiles, se rehúsan a hacer cambios radicales que impacten la emisión de gases de efecto invernadero y tampoco están dispuestos a realizar el gasto que exige invertir en energías renovables. Es una historia de David contra Goliat, con Goliat siendo la geopolítica y la gran industria, y David un sujeto que hace las compras de supermercado con bolsas de tela.

Dejar de emitir CO₂ va de la mano con cambiar la manera en que producimos energía, con dejar atrás (o en su mínimo) las termoeléctricas a carbón o gas y reemplazar los autos convencionales por otros que no usen gasolina ni petróleo. La solución inmediata está, con nombre y apellido: energías renovables y electromovilidad. Usar la energía que nos entrega el sol y el viento y que el transporte funcionen con electricidad en lugar de combustible fósil. La tecnología y la innovación han llegado muy-muy lejos, el acceso y desarrollo de energías como paneles solares o turbinas eólicas ha avanzado a pasos agigantados durante las últimas décadas, convirtiéndolas en competidores reales contra la quema de combustibles fósiles, y los vehículos eléctricos son cada vez más comunes (aunque aún no tienen solucionado lo del acceso igualitario).

El mundo avanza a gran velocidad, las soluciones también, y confío ciegamente en la capacidad que tiene la humanidad para surfear la ola cuando hay que hacerlo. Lograremos la transición energética que tanto estamos esperando, pero para hacerlo no podemos ignorar cuáles son los ingredientes necesarios: turbinas eólicas, paneles solares y autos eléctricos fabricados con nuestros queridos y fieles amigos los metales, que siguiendo una tendencia histórica continúan teniendo un rol protagónico en el devenir de la sociedad. Bajo otra lógica de extracción y consumo, creo que serán los héroes silenciosos del escape de este desastre

medioambiental que hemos provocado y me voy a tomar la libertad de sacarlos un poco del anonimato, de destacar su lugar en nuestro desarrollo pasado, presente y ahora futuro.

¿Serán los metales los salvavidas del futuro?

Por supuesto que sí. Pero no va a ser tan fácil ni sencillo, porque junto con reunir metales debemos cuestionar el estilo de vida que estamos llevando y hacia dónde queremos ir en el futuro. Queda claro que el cambio climático es un problemón que amenaza el bienestar del planeta y de sus habitantes, y las soluciones que se han propuesto para mitigar sus efectos se enfocan en dejar de quemar combustibles fósiles y transicionar a energías renovables. El rol que juegan los metales en este esquema es fundamental y sin embargo muchas veces pasa desapercibido. Mi idea no es hacerles un *greenwashing* pasando por alto que su producción, transporte y uso han contribuido al problema contaminando el aire, agua y suelo y llevando a nuestro planeta y su vida silvestre al límite, pero sí me parece vital repensar nuestra relación ellos y entender cuál ha sido su función.

En la página web de la Agencia Internacional de Energía (IEA) existe un informe técnico muy completo, publicado en 2021, que señala cuáles son los metales más importantes para alcanzar la transición energética que nos permita convertirnos en una sociedad carbono neutral. Buena parte del análisis se basa en el concepto moderno de «metal crítico», que refiere a un metal cuyo suministro permanente puede peligrar y que es vital para nuestra sociedad. No hay un acuerdo global sobre qué metales son los que caben dentro de esta denominación, solo listados aislados por países, pero el informe de la IEA hace un buen resumen del tópico y lo extrapola a nivel mundial, definiendo que son críticos aquellos que se encuentran en baja concentración en la corteza terrestre, que se limitan a lugares geográficos difíciles de acceder o cuya demanda es mayor a la oferta.

Desenredemos juntos la madeja.

Los sistemas energéticos difieren unos de otros según en qué basan su funcionamiento. Por ejemplo, la construcción de los paneles fotovoltaicos que se usan para generar energía solar, de las turbinas eólicas y de los autos eléctricos ocupa mucho más metales o minerales que su contraparte basada en la quema de combustibles fósiles. El auto eléctrico requiere seis veces la cantidad de metales de uno tradicional y la turbina eólica seis veces más que una planta eléctrica a gas.

Desde 2010 la cantidad promedio de metales por unidad de energía usada se ha incrementado en un 50 por ciento, debido a que cada vez han ido apareciendo más y más inversiones en energías renovables. Pero es importante recordar que no todos se ocupan de la misma forma. Mientras el litio, el níquel, el cobalto, el manganeso y el grafito (que no es técnicamente un metal) son cruciales para la construcción y desempeño de baterías de litio, los metales de la familia de las tierras raras son esenciales para la construcción de magnetos utilizados en la fabricación de turbinas eólicas y autos eléctricos. En esta transición hacia lo eléctrico, estamos viviendo también el renacer del querido cobre, que junto al aluminio estará muy presente en los cambios futuros, quitándoles protagonismo a los hidrocarburos de la industria.

Si queremos cumplir la meta del Acuerdo de París firmado en 2016 —que las temperaturas globales no suban más de 2 °C—, debemos tomar consciencia de que la búsqueda de metales se disparará. Estamos frente a una misión tremenda, porque se estima que la demanda de cobre y tierras raras subirá un 40 por ciento, la de cobalto y níquel un 60-70 por ciento y la de litio más de un 90 por ciento; y para cumplir con el Acuerdo dichas cifras (que equivalen a cuadruplicar los requerimientos actuales) deben ser cubiertas antes de 2040. No hay completa certeza sobre los números y metales como el cobalto podrían terminar subiendo entre seis y treinta veces su demanda según los cambios que

vayan sufriendo las baterías de litio con tecnologías más avanzadas (y algo similar ocurre con las tierras raras).

De todas maneras, cualquiera de estos escenarios hipotéticos hace surgir la pregunta de si el planeta tiene la capacidad para proveer esas cantidades de metales, pues en términos de geología sí nos queda bastante corteza por explorar y recursos que encontrar, pero hacerlo no es tan simple y plantea tanto desafíos ingenieriles como geopolíticos. En este preciso instante de la historia, mientras escribo estas palabras, la realidad es que no contamos con la velocidad que exige la demanda. Y aunque hay múltiples proyectos avanzando, lo cierto es que en este momento tenemos incertidumbres y debilidades que pueden impedir mantener una oferta y precios constantes para la tarea planteada.

Analicemos algunos puntos a considerar para la tarea de suplir metales críticos.

El monopolio (o alta concentración geográfica) de metales

La producción de algunos metales críticos está muy concentrada en lugares específicos del globo, que no siempre son simples de transitar o trabajar. Recordemos lo que pasó en 2010 con las tierras raras y China, que dosificó sus exportaciones y al ser uno de los únicos productores logró control completo sobre los precios. Es eso lo que debemos evitar, y no es fácil cuando más de la mitad de la producción de metales como el litio, el cobalto y las tierras raras es controlada por pocos países (entre los que destacan el gigante asiático y la República Democrática del Congo).

Necesito hacer una pausa acá, porque la crisis del cobalto y la República Democrática del Congo (RDC) es un tema que todos los que ocupamos tecnología moderna deberíamos conocer.

Tenemos que saber de dónde proviene la materia prima con la que se fabrican los productos esenciales del día a día y, de la misma forma que alguien que opta por no comer carne para evitar el sufrimiento animal, deberíamos pensar en los bienes materiales que consumimos y cuyos metales pueden tener detrás un historial de malas condiciones laborales.

En 2022, el investigador Siddharth Kara publicó el libro *Cobalto rojo: Cómo la sangre del Congo potencia nuestras vidas*, donde muestra una minuciosa investigación sobre las brutales condiciones laborales y sociales que rodean la minería de cobalto en el país. Sus relatos son desgarradores, no hay otra forma de decirlo. La RDC tiene más reservas de cobalto que todo el resto del mundo sumado y el autor menciona que no existe una cadena de suministro «verde» o «limpia» en su minería; mucho del metal se extrae de manera artesanal, en condiciones de alto riesgo y con un pago de un par de dólares al día. Kara describe este tipo de minería como retroceder el tiempo siglos —quizá con condiciones parecidas a las de la minería romana—, tanto por la ausencia de algo que se acerque a los derechos laborales como por el daño medioambiental que ha generado. La industria ha arrasado con el paisaje natural de la RDC, millones de árboles han sido talados, el aire alrededor de las minas de cobalto es brumoso (una mezcla de polvo y arena) y el agua está contaminada con flujos tóxicos provenientes del procesamiento mineral. En la actualidad, se supone que las grandes empresas tecnológicas distinguen entre el cobalto que proviene de operaciones legales y seguras versus el de minas ilegales, pero según este autor es imposible diferenciarlas, porque ambos tipos de operaciones extractivas están íntimamente ligadas y casi todas las minas industriales tienen mineros artesanales trabajando a su alrededor.

En este momento es difícil pensar en reemplazar el cobalto dentro del grupo de metales críticos para la transición energética,

sobre todo por el prominente rol que ocupa en la construcción de baterías de litio. Pero siendo honestos, ¿de qué sirve pensar en una transición energética o en la lucha contra el cambio climático cuando de nuevo es un proceso a costa de ciertos grupos de personas, que en casos como el de la RDC perpetúa un ambiente opresivo en una de las áreas más abatidas por la explotación y el colonialismo? Creo que no tiene sentido andar construyendo baterías de litio si las empresas a cargo no son capaces de asegurar que su cadena de suministro completa funciona dentro de un marco de legalidad y respeto a los derechos humanos.

La historia de la minería en la RDC es compleja y presenta un escenario geopolítico importante y preocupante. Si bien el episodio de las tierras raras en 2010 marcó un precedente respecto a lo vulnerables que somos ante una potencial escasez de ciertos metales, nos seguimos enfrentando a un panorama donde esto perfectamente podría pasar de nuevo. China, con una visión a futuro impresionante y sin que el resto del mundo se diera cuenta, adquirió casi todo el mercado de cobalto disponible en el planeta. En 2009 Joseph Kabia, presidente de la RDC en ese momento, firmó un acuerdo con el gobierno chino para darle acceso a sus concesiones mineras a cambio de ayuda para el desarrollo del país (construcción de carreteras, hospitales, colegios y otros). Un trato bueno para la RDC, que necesita de manera urgente ayuda para construir y reforzar su infraestructura, pero aún mejor para China, que en unos pocos años ya era dueño de quince de las diecinueve minas más importantes del país. China domina las operaciones mineras, pero también gran parte de la cadena para la construcción de baterías de litio, que va desde la materia prima hasta el producto final.

Uno quisiera o pensaría que esa alta concentración de cobalto en la RDC se traduce en desarrollo y enriquecimiento exponencial para la nación, pero la realidad ha sido la opuesta: décadas de guerra civil, inestabilidad social, guerrillas y

colonización al final pasan la cuenta e impiden pensar en su abundancia como una «bendición» metálica. La riqueza de la RDC ha sido motivo constante de conflictos sociales y laborales, por eso es tan importante diversificar, encontrar otras fuentes de cobalto reguladas donde la extracción no sea sinónimo de menor seguridad social y en el empleo. Debemos trabajar por evitar los monopolios geológicos.

Los desafíos de la ingeniería

A mi parecer, el problema en relación a la transición energética no es si existe o no la cantidad necesaria de metales para llevarla a cabo (la Tierra tiene metales de sobra), sino cómo los extraemos. Y es que, por un lado, los depósitos metálicos nuevos son cada vez más profundos y, por otro, los que estaban cerca de la superficie, facilitos de ver, ya los encontramos. El problema de los depósitos muy profundos es que desde una perspectiva ingenieril no son nada fáciles de explotar. Pensemos en El Teniente, una de las minas tipo pórfido de cobre más grandes del mundo que lleva años operativa y siempre ha sido subterránea, porque en ella se trabaja a más de mil metros de profundidad de la superficie. Por mucho que el mineral que se extrae de ella sea de buena ley y económico, manejar una operación a semejante profundidad es un tremendo desafío desde el punto de vista de la ingeniería, que requiere dinamitar y explotar toneladas y toneladas de material que no sabemos a ciencia cierta cómo se comportará en lo mecánico a altas profundidades, ni qué ocurrirá con los túneles que se ubican por encima. Es probable que las minas del futuro sean en su mayoría subterráneas —considerando que casi todos los descubrimientos están a mayor profundidad— y tanto la tecnología como la ingeniería tengan que ponerse en modo ultra turbo para poder resolver los desafíos que implicará.

Los estándares sociales y medioambientales son cada vez más altos

La producción y procesamiento de recursos metálicos lleva consigo un sinnúmero de conflictos que, si son mal manejados, pueden dañar comunidades e interrumpir el suministro de metales críticos. Nuestra sociedad actual tiene la capacidad y las plataformas para informar (y desinformar) muy rápido, con un alcance mucho mayor al de hace algunas décadas, y aunque ha sido perjudicial en algunos aspectos también nos ha empoderado más y más sobre cuánto podemos influir en decisiones como el eventual desarrollo de un proyecto minero. Y es que, en el último tiempo, hemos logrado interrumpir diversas operaciones por ser consideradas irrespetuosas con las comunidades aledañas o el medioambiente: proyectos buenos en términos de contenido metálico que han sido cerrados y enterrados porque la compañía a cargo no cumplió con los estándares actuales.

Este desfase entre lo que espera la sociedad y lo que hace la minera probablemente se debe a que no siempre fue así; antes, la minería tenía prioridad total frente al entorno y ha sido difícil cambiar esa dinámica y que las empresas entiendan que si quieren que un proyecto sea exitoso deben trabajar codo a codo con las comunidades, en pos del respeto al medioambiente.

Una mayor vulnerabilidad a riesgos asociados al cambio climático

Según donde se sitúen los depósitos metálicos, estos pueden estar expuestos a riesgos ligados a problemáticas causadas por el cambio climático. Los suministros de cobre y litio son particularmente vulnerables al estrés hídrico, porque su producción requiere bastante agua, y las grandes mineras han logrado zafar del problema construyendo desalinizadoras, una operación

carísima que no todos los países pueden costear. Se estima que hoy más del 50 por ciento de la producción de litio y cobre está concentrada en Australia, China y Sudamérica, todos lugares vulnerables a temperaturas extremas o riesgos de inundación, un riesgo constante a un suministro de metales críticos.

Con tanto problema cabe cuestionarse si vale la pena la travesía de transicionar a energías renovables y electromovilidad. Hace unos meses, alguien preguntó por qué no creamos autos que no emitan CO₂, por qué no logramos quemar combustibles fósiles con alguna tecnología que evite la emisión de gases de efecto invernadero. Me dejó pensando un buen rato la idea y la discutí con varias personas, porque la respuesta no se me venía de manera intuitiva. Días después llegó. Estaba cenando con mi profesor guía y él dio en el clavo: el reciclaje. Mientras la quema de combustibles fósiles es un proceso en que perdemos por completo los hidrocarburos utilizados, los metales no desaparecen después de un uso sino que se pueden reciclar y utilizar múltiples veces. Esto tiene implicancias enormes para la transición energética, que nos exige reunir una cierta cantidad inicial de metales y después reciclar, no seguir explotando non-stop.

El maravilloso concepto de reciclaje nos recuerda lo que ocurre con la mismísima fabricación de tecnología, un problema que va más allá de la minería y de la obtención de metales. Hoy sus productos no se crean pensando en ser reciclados sino solo teniendo la ganancia del fabricante en mente, sin otra motivación detrás ni una reflexión sobre la relevancia de crear una cadena sustentable. A fines de 2022, la BBC publicó un reportaje en el que estimaba que cinco billones de teléfonos (¡cinco BILLONES!) iban a ser tirados a la basura durante ese año. ¿Cuánto del metal ocupado en esos aparatos fue rescatado? ¿Existe alguna fábrica de teléfonos móviles que los produzca pensando en que puedan ser reciclados? O algo incluso más

básico, ¿los fabrican para poder ser reparados cuando presentan problemas?

Vivimos bajo una lógica de consumo tan intensa que ni siquiera se nos pasa por la cabeza arreglar un celular cuando tiene un problema, porque es más fácil y menos costoso comprar otro. Por eso el conflicto es más profundo que preguntarse de dónde sacaremos los metales para la transición energética; tiene que ver con la forma en que nos movemos y gestionamos como sociedad, en especial en los países más desarrollados. El mundo moderno gira alrededor del consumo y tenemos poco o nada de conciencia sobre el impacto que genera cada cosa que compramos o botamos. Nuestra principal tarea es consumir de manera más responsable, pelear porque se legisle para que la fabricación de tecnologías deba ser sustentable y tienda al reciclaje de sus productos, y también para que los metales que se utilizan tengan un origen confiable y ético. De la misma forma que una sociedad más empoderada ha logrado detener proyectos mineros, es hora de imponerse y revisar toda la cadena de producción.

Ya que nos imaginamos un futuro con predominancia de energías renovables y electromovilidad, debemos preguntarnos si buscamos que todos los autos que hoy vemos en las calles sean reemplazados por autos eléctricos. En lo personal, no lo sé. Pero durante esa misma cena de la que les hablé mi profesor me contó que había participado en un conversatorio donde les pidieron a los asistentes imaginarse cómo sería el mundo carbono neutral y una respuesta se repitió: un mundo sin autos o donde tenerlos sea un lujo absoluto y su arriendo para ciertas ocasiones pase a ser la regla. En este futuro imaginario, el transporte público se tomaría todas las ciudades y tener auto no sería necesario ni cómodo. De ser así, no requeriríamos litio, cobalto y níquel para reemplazar toda la flota de autos del planeta por autos eléctricos y se podría planificar de manera más inteligente y eficaz el funcionamiento de las ciudades o asentamientos humanos, sobre

todo en aquellas naciones cuyas ciudades fueron construidas solo para el uso de autos y el transporte público es anecdótico (te hablo a ti, Estados Unidos).

Y claro, los metales sí son la clave para salvar el futuro, pero hay muchos matices en esta solución, matices que van a requerir un cambio fundamental en la forma en que funcionamos como sociedad. No tengo claro tampoco si somos capaces de lograr ese cambio, si a final de cuenta no somos nosotros —los consumidores— los que decidimos la forma en que se fabrica la tecnología, pero sí somos nosotros los que en democracia elegimos a quienes legislan sobre estas materias. Y quizás tengamos que esperar que el cambio climático llegue a un punto sin retorno de grandes catástrofes, donde algunas personas sean desplazadas de sus territorios en masa porque simplemente ya no son habitable. Pero revisando toda nuestra historia me he dado cuenta de que la humanidad es resiliente, cambia y se adapta cuando los tiempos lo exigen, y es mágica y creativa cuando llega la hora de buscar soluciones. Y si la humanidad fue capaz de soportar el peor año de la historia o la peste bubónica no veo porque no podemos salir de esta.

O al menos eso, desde mi vereda, es lo que elijo pensar.

Algo está cambiando

No quiero terminar estas páginas con tanta angustia sobre el futuro. Sí, hay mucho por hacer y mucha incerteza sobre los años venideros, pero también se han creado espacios para dar la pelea con iniciativas que me parecen modelos a seguir. Es indudable que muchísima gente buena está luchando por el cuidado del medioambiente, pero cuando se trata de metales y transición energética me gusta destacar ciertas propuestas que en mi opinión van en la dirección correcta. Es imposible nombrarlas todas, pero aquí van las principales.

EITI e IRMA, la pelea por la transparencia

Si de verdad buscamos que la transición energética funcione primero debemos resolver una de las problemáticas más simples y discutidas que, queramos o no, implica más minería: de qué forma conseguir más metales y en cuánta cantidad. Sé que es algo súper contraintuitivo, porque, probablemente, para una persona interesada en el cuidado del medioambiente lo más lógico es terminar con esta industria de inmediato, pero lo cierto es que para alcanzar la carbono neutralidad no podemos ignorarla. ¿La diferencia con lo que se ha hecho hasta ahora? Que no hablamos de la minería tal y como la conocemos, sino de una que cumpla con los estándares sociales y medioambientales impuestos por la sociedad moderna.

El desafío no es menor, porque tras siglos de falta de comunicación entre la población y la industria, condiciones de trabajo cuestionables y desastres naturales vinculados a la actividad extractiva —que han afectado de forma particular a países con menor desarrollo económico—, uno de los mayores problemas es la falta de confianza en la minería y sus métodos. Y es que con casos emblemáticos como el de RDC y el cobalto o de Nigeria con el petróleo, hemos podido observar cómo a veces la abundancia de recursos naturales termina transformándose en una maldición para la nación. La célebre «paradoja de los recursos».

Entonces, una arista a trabajar refiere a cómo reconstruir la confianza en la industria o cómo acordar una especie de pacto social entre la minería y la sociedad civil, y ha sido esta la línea de trabajo de un par de iniciativas internacionales que buscan algo muy simple, pero importantísimo: la transparencia. Que exista honestidad en la industria minera respecto a los recursos geológicos que posee, sus operaciones y las utilidades que reporta.

La primera es la Iniciativa de Transparencia en Industrias Extractivas (EITI). Un estándar global que aboga por la buena gobernanza de los recursos minerales, pero también del petróleo y el

gas. El estándar EITI requiere información a lo largo de toda la cadena de suministro de una actividad extractiva, desde la utilidad de una operación para el país hasta su contribución a la economía. Esto incluye el registro de las distintas concesiones y contratos, de los dueños que se benefician con la operación extractiva, información sobre los tratos legales y fiscales, cuánto produce y paga la operación, para dónde van las utilidades y el gasto social y económico que implica llevarla adelante. O sea, todo.

Este estándar ya se ha implementado en cincuenta y cinco países alrededor del mundo (no en Chile hasta ahora), que al suscribirlo tienen la obligación de publicar anualmente la información mencionada mediante un informe que luego se revisa para evaluar la performance del país en cuanto a cumplimiento del estándar EITI y la promoción del diálogo entre la industria y la población. Cada país que se suscribe al EITI tiene su propia mesa de trabajo compuesta por representantes del gobierno, de la industria y de la sociedad civil, que en conjunto toman decisiones sobre cómo puede ser desarrollado el proceso en su zona.

La iniciativa, que empezó en 2003, ha logrado hacer importantes contribuciones para mejorar la gobernanza en el sector extractivista de distintos países y también ha instalado a nivel mundial el debate sobre la importancia de la transparencia en temáticas asociadas al comercio de metales y la minería artesanal, algo impensado unas décadas atrás. Al contar con información detallada, el EITI puede señalar números que deberían cambiar para alcanzar los objetivos propuestos, como ocurrió hace algún tiempo con Perú al identificarse que solo invertía el 15 por ciento de los réditos en gasto social como infraestructura o diversificación económica. Que los movimientos de la industria se transparenten permite a la sociedad establecer diálogos con sus autoridades y llegar a acuerdos para invertir de mejor forma las ganancias obtenidas.

Los reportes que cumplen con el estándar EITI tienen como objetivo identificar debilidades de los sistemas gubernamentales en cuanto al manejo de recursos energéticos o metálicos para así ayudarlos a mejorar. Y aunque la propuesta me parece de gran ayuda, no puedo negar que ha recibido críticas por su incapacidad de sancionar a los países que no cumplen con los criterios establecidos o por haber permitido la suscripción al estándar de países como Etiopía o la RDC. Sea como sea, el hecho es que estamos ante una iniciativa cuyo fin es cambiar la forma en que los países desarrollan sus actividades extractivas y por eso hay que darle los jumbitos que merece.

Existe una propuesta parecida a EITI, pero enfocada solo en minería: la Iniciativa de Garantía de Minería Responsable (IRMA). IRMA fue fundada en 2006 por una coalición de organizaciones no gubernamentales —empresas que se dedican a la compra y reventa de metales, comunidades, mineras y sindicatos— que buscan respuestas sociales y medioambientales a la demanda global por una minería más responsable. También propone un estándar generalizado para la minería, que en su caso se cumple mediante una evaluación independiente hecha por terceros que revisa el cumplimiento de estándares internacionales establecidos y desarrollados para la minería y toda su cadena de producción y procesamiento y con la participación y consulta de un amplio rango de actores sociales. Si bien ambas buscan establecer estándares internacionales basados en la transparencia, la gran diferencia de esta iniciativa es que aquí no se suscribe un país sino una empresa y sus operaciones, y está pensada para entidades diversas —como empresas de tecnología, de importación y exportación de metales, organizaciones sociales y sin fines de lucro—, no solo para mineras cuyo negocio se enfoca en la extracción.

Como cuesta creer solo en buenas intenciones, a estas alturas resulta imperativo establecer relaciones de confianza que se basen en compromisos y acciones tangibles de parte de la

industria minera. Por eso es tan apropiado el camino de que una empresa o país adquiriera el compromiso de cumplir estándares internacionales que además permiten auditarlos. Me parece interesante pensar en los beneficios que puede obtener una empresa al suscribirse a estas iniciativas que las dejan expuestas, pero después de desastres medioambientales como el de Vale en Brumadinho, en Minas Gerais, que significó tremendas pérdidas económicas por la baja en el precio de las acciones, creo que las empresas solo se unen porque ven que para poder seguir adelante, obtener la «licencia social» y seguir trabajando, necesitan la confianza de la gente y del sistema y eso solo se gana por medio de compromisos reales, en papel y en público. No sé si las empresas suscritas a IRMA están ahí porque quieren ser mejores, eso da un poco lo mismo, lo importante es que están y solo así podrán seguir funcionando.

Hacernos cargo de la basura

Durante mi doctorado pasé bastante tiempo en la región de Atacama, entre Copiapó y Tierra Amarilla, una zona que guarda un lugar especial en mi corazón. Su geología es absurdamente fascinante y los atardeceres en Copiapó, con los cerros sin vegetación teñidos de un color rosa anaranjado, son de las cosas más hermosas que me ha tocado ver. Aquí la minería tiene un lugar predominante y sus operaciones se llevan a cabo al lado de la ciudad (Tierra Amarilla está rodeada de mineras por oeste y este), lo que a veces produce ciertos roces entre la comunidad y las industrias de la zona.

En esta dinámica, una de las cosas que más me ha llamado la atención es la cantidad de relaves y botaderos que existen y que parecen no tener dueño; un festival de falsos cerros de basura minera. Los relaves corresponden al desperdicio que queda cuando se hace el concentrado de metal y botadero es la ganga,

esa roca sin minerales metálicos que surge cuando se construye la mina. Ambos presentan un problema tremendo para Tierra Amarilla, que solo está controlado donde existen operaciones activas porque las empresas están obligadas a hacerse cargo.

Desde hace años se discute qué se puede hacer con esta basura minera. Una propuesta ha sido usarla como material de construcción, pero en muchos casos no es posible porque contiene minerales que, aunque sea en concentración de traza, pueden ser reactivos y terminar produciendo problemas medioambientales como el drenaje ácido. El desafío continúa y el mundo moderno nos enfrenta a dilemas donde sí se le podría volver a dar valor a esta basura, como ocurre con los famosos metales críticos. Y es que existe una nueva gama de metales de interés económico que antes no lo eran porque no existían las tecnologías que los usaban. Muchos de ellos no se encuentran en gran concentración en los minerales, sino más bien en cantidades pequeñas (tan pequeñas que nunca antes habían sido considerados). Pero lo que solía ser basura, sin un valor económico, ahora tiene importancia. Como no todos los relaves poseen estos metales, parte de lo que hago cuando me pongo el gorro de investigadora es estudiar dónde podemos encontrarlos, en qué minerales se esconden los metales críticos y en qué concentración se encuentran; y me gusta pensar que con este ejercicio puedo darle algo de valor a esa basura minera y que alguna empresa se interese, la limpie, la procese y la incluya en sus negocios.

Aunque algunos viejos estandartes de la geología juran de guata que hacer minería de la basura es imposible, yo me niego a creerlo: tengo una fe ciega en que la necesidad nos va a llevar a escarbar y limpiar los restos que encontremos. Por suerte no estoy sola, cada vez hay más investigaciones sobre el tema e incluso iniciativas respaldadas por grandes mineras. Una de estas se llama Regeneration y nació de la ONG Resolve, un organismo que se dedica a buscar soluciones sustentables y justas para las

problemáticas sociales, de gobernanza y medioambientales del presente. Me encantaría que tuvieran una página web donde explicaran bien cómo trabajan en esto, pero lo que les puedo contar es que estamos ante una una start-up formal cuyo objetivo es limpiar la basura minera y reestablecer el paisaje y la biodiversidad que existía previamente en el lugar, sacando, a la vez, una ganancia económica en el proceso.

Regeneration fue lanzada en 2021 con el apoyo e inversión inicial de la minera Río Tinto. El plan es desarrollar tanto la biodiversidad como la comunidad y la producción de metales mediante la minería de relaves y botaderos, reprocesándolos y restaurándolos para avanzar con ellos hacia la transición energética. El target de la iniciativa son sitios mineros históricos y la basura supervisada por alguna minera, pero también lugares medio abandonados o de carácter público. Aunque su idea es centrarse en sistemas ecológicos como bosques, ríos y humedales, quiero creer que nuestro desierto de Atacama eventualmente será incluido. Por supuesto, este trabajo debe hacerse de la mano de las comunidades locales, el gobierno, las comunidades indígenas y los socios estratégicos de la industria minera, tecnológica, de mitigación y restauración. ¿El motto? Que se puede usar la ganancia de explotar la basura para mejorar el medioambiente y restaurar los ecosistemas.

Me gusta la idea y creo que urge invertir en que se haga posible. Quién sabe si prenda una llamita y haga nacer iniciativas similares.

Un nuevo trato con las comunidades

La relación entre la sociedad civil y la minería ha sido una constante de tensiones por diversas razones, pero casi siempre prima la relacionada con planificar y desarrollar proyectos mineros sin la integración de las comunidades aledañas. La costumbre de llegar a trabajar a una zona y avisarles a los vecinos

cuando ya está todo instalado ha sido siempre el *modus operandi* de las industrias extractivas —tanto de hidrocarburos como de minería—, y ya sabemos que hace tiempo dejó de ser bien recibido y permitido.

Existen varios casos de comunidades que han logrado cerrar proyectos u operaciones mineras gracias a la presión derivada del descontento social que genera la displicencia y falta de transparencia de las empresas. Quizá el caso más emblemático para nosotros en Chile es Pascua Lama, un proyecto minero que estuvo en una disputa social por décadas debido a que la comunidad aledaña denunció que la empresa canadiense Barrick, encargada de la operación, estaba dañando los glaciares con la construcción de la mina. La pelea se dio en parte por la falta de transparencia y claridad de la minera, y solo llegó a su fin cuando en 2020 el proyecto fue sepultado por un tribunal ambiental chileno tras comprobarse que dos glaciares estaban siendo destruidos. Si yo hubiese sido parte de la comunidad local afectada esta experiencia me habría hecho odiar con toda mi alma a la industria minera, sobre todo al darme cuenta de que no es un caso aislado y las empresas involucradas suelen manejarse así.

En 2022 tuve el placer de asistir a un terreno con estudiantes de Geología de la Universidad de Toronto que pasarían una semana recorriendo las maravillas geológicas de la región de Atacama (que, dicho sea de paso, tiene la mejor geología de Chile). Durante esa semana planificamos visitar una pisquera —como actividad cultural, por supuesto— en el valle del Tránsito, situado hacia el interior de la ciudad de Vallenar, que iba a ser afectado por la construcción de la mina Pascua Lama. Ahí nos recibió una mujer de la zona que, antes de que pudiésemos contarle que éramos geólogos, comenzó a darnos una charla en contra de la minería y el extractivismo, claramente dolida y afectada por todos los problemas que había vivido su zona. Nadie se atrevió ni

tuvo el corazón para decirle que éramos geólogos y que por nuestra especialidad teníamos cierta relación con la industria minera. La experiencia me dejó pensando en el profundo daño que hace la minería cuando le intenta doblar la mano a las comunidades, un daño que deja heridas que demoran mucho en cicatrizar. Y aunque Pascua Lama sea un hermoso depósito epidermal de oro de primera categoría, es probable que quede varado en la alta cordillera por muchos años más.

Lo ocurrido en Atacama no pasó desapercibido en el mundo de la minería y profundizó el entendimiento de que, sin la aprobación y el trabajo en conjunto con las comunidades, la industria no tiene futuro. Da lo mismo lo importante que sea el metal crítico en cuestión, da lo mismo que sea esencial para salvarnos del cambio climático, si no se trabaja y construye en equipo no llegaremos a ningún lado. Porque el trabajo en armonía con el entorno, informado y transparente, es una muestra de respeto hacia todos los actores involucrados.

Por suerte las cosas están cambiando. Este año se aprobó la puesta en marcha de una operación en el estado canadiense de British Columbia, llamada Blackwater, que pertenece a la minera Artemis Gold. Lo interesante del proyecto —que ya ha pasado todas las vallas de aprobación— es que desde sus etapas más tempranas ha sido modelado con la participación activa de las comunidades nativas de la zona, que incluso firmaron un acuerdo comercial con la empresa en el que establecen que compartirán las utilidades de la mina. Trabajar en conjunto desde el inicio parece ser clave para avanzar hacia proyectos mineros responsables y sostenibles, ya que no hay nada que dé más desconfianza que un privado tomando decisiones sin consultarle a nadie. Lo bonito es que casos como este nos muestran que sí se puede avanzar en nuevas operaciones mineras de la mano con las comunidades, creando un espacio de trabajo colectivo y tomando decisiones en conjunto.

Hoy Canadá tiene algunas de las políticas más avanzadas sobre trabajo entre industria y comunidades. Siempre me ha llamado la atención que cada vez que se habla de un proyecto minero allá, la persona a cargo empieza su presentación reconociendo las tierras ancestrales y las comunidades nativas de la zona. Algunas veces conversé con geólogos canadienses radicados en Chile que no entienden por qué acá no hacemos lo mismo, dado que es una muestra de respeto y reconocimiento a la historia y también una buena práctica a nivel social.

La transición justa

Hay un último concepto que me parece clave para que el desarrollo futuro llegue a buen puerto y la transición energética sea exitosa: transición justa. Y es que este cambio tan esperado va a favorecer tremendamente a las naciones que se la jueguen por conseguirlo, porque la descarbonización está llamada a crear múltiples oportunidades y empleos en casi todos los sectores de la economía, pero también a promover cambios sociales que consideren las opiniones y el bienestar de las comunidades a las que afectarán.

Sin embargo, de manera inevitable la descarbonización será también disruptiva y tendrá consecuencias desproporcionadas en aquellas zonas que durante décadas han dependido de las industrias relacionadas a combustibles fósiles, como será el caso de las localidades que centran sus actividades e ingresos en la minería de carbón o de una termoeléctrica. Los trabajadores se verán forzados a dejar sus puestos de trabajo y a alterar su vida en pos de la humanidad, en muchos casos sin estar listos para enfrentar los costos que esto implica. Basta con recordar el norte de Chile y sus oficinas salitreras abandonadas luego de que se descubrió el salitre sintético; pueblos fantasmas cuyos trabajadores se vieron forzados a dejar

su vivienda y buscar empleo en otro lado o rubro, la mayoría sin apoyo. Es imprescindible tener presente que nuestra gran salvación al cambio climático también afectará a otros y los obligará a comenzar una nueva vida. Hasta cierto punto serán estas las personas que demostrarán si la transición es exitosa o no, porque no debería haber comunidades sacrificadas en el camino hacia la descarbonización.

Por el bien común del planeta, tenemos que ser capaces de generar juntos estos cambios, sin dejar a gente atrás o en peores condiciones de las que ya tenían.

A diferencia de las revoluciones industriales previas, la transición energética debería poner como prioridad a la gente y al planeta y no las utilidades. Porque al final, termine como termine, sin cohesión ni paz social no vamos a lograr nada, menos si profundizamos las desigualdades y perpetuamos la existencia de comunidades desplazadas. Por eso el concepto de transición justa es una aproximación empática y equilibrada al desarrollo sustentable que contempla el progreso social, la protección al medioambiente y el crecimiento económico desde una gobernanza democrática e igualitaria.

Hablar de justicia lleva implícito el deber de los gobiernos de pensar cómo los cambios en materia energética afectarán a todos los actores involucrados en la cadena de procesos, desde el minero que perderá su puesto de trabajo hasta el trabajador que tendrá que ser entrenado en un oficio distinto para fabricar nuevas tecnologías. La idea es simple: evolucionar y movernos como sociedad sin dejar a nadie atrás.

La transición justa es un término que está siendo ampliamente ocupado y puesto en práctica por diferentes organismos internacionales como el Banco Mundial y la ONU, y tengo la certeza de que será un término que escucharemos cada vez más a medida que los gobiernos comiencen a tomar decisiones o legislar sobre el uso (o no) de combustibles fósiles.

Llegamos al final de esta historia de creaciones universales, construcción de la historia y miradas sobre el presente, siempre lado a lado con esos elementos brillantes que han sido fundamentales para nuestro desarrollo. Para mí ha sido un viaje hermoso revisar la historia con esta narrativa, encontrarme con hechos increíbles que a veces rayan en lo cinematográfico y, al mismo tiempo, poder transcribir algunas de las tantas historias y conversaciones que he ido recopilando con el tiempo y que me han hecho reflexionar sobre nuestra existencia y el trabajo que debe ser puesto en marcha. No aspiro a convencer a nadie de nada cuando se trata del uso de metales, pero sí me importa aclarar su relevancia en términos geológicos e históricos, el pilar que han sido estos elementos formados por la naturaleza.

Alguien me comentó que este texto es en parte una carta de amor a los metales y creo que tiene razón. He dedicado mi carrera —al menos hasta ahora— a investigarlos y entender cómo se mueven, cómo se forman, dónde los encontramos, y ante mis ojos nunca dejarán de ser sorprendentes y misteriosos. Al recorrer este camino, durante mis años como geóloga también he podido conocer y entender mejor una industria que lleva siglos y siglos formándose y desarrollándose, que inevitablemente me genera conflicto cuando pienso en el impacto medioambiental que ha generado su actividad y en el profundo respeto que siento por aquellos trabajadores que han cargado en su espalda (de manera bastante literal) la materia prima que sustenta el presente.

Mi amor por los metales se combina con el amor que siento por todos los procesos que han llevado al planeta a tener forma y vida, porque son millones y millones de años de cambios, nacimientos y extinciones los que nos han llevado al momento que estamos viviendo. Que como humanidad seamos solo un segundo dentro de la escala de tiempo de la Tierra, me ha hecho pensar en lo esencial que es ser buenos entre nosotros y pelear por una sociedad que haga el bien, que nos cuide. Consignas como

«Salvemos el planeta» o «Salvemos el medioambiente» deberían mutar a «Salvemos el medioambiente para que la humanidad puede salvarse». Y es que el planeta que habitamos es en exceso resiliente y va a seguir con lo suyo estemos o no, pero nosotros somos una capa frágil que debe ser protegida y ese cuidado depende de la capacidad que tengamos los seres humanos para respetar el entorno.

No sé si la única solución para mantener nuestro estilo de vida en el futuro (sin entrar en un desastre medioambiental mayor) sea la transición a las energías renovables y la electromovilidad, pero hasta ahora es lo que hay y por eso creo que es importante reconciliarnos con los metales, abrazar y ser conscientes de la importancia que tienen. Sigo recordando las palabras que me dijo mi profesor guía del doctorado en medio de mi crisis vocacional: se nos olvida la importancia que tiene la materia prima en nuestras vidas, pasa desapercibida en el día a día y, por eso, este texto es un pequeño intento de ponerla en la palestra. Y finalmente, invito de nuevo a evaluar e identificar cuánto de lo que nos rodea está hecho de metales y cómo sería nuestra vida sin ellos.