

Capítulo 4

Descubrimientos y destellos: de los Curie a la montaña rusa del siglo XX

Una buena parte de los avances se debió al uso de metales para fines específicos, pero también a métodos de metalurgia que posibilitaron su extracción y procesamiento de manera más efectiva. Por ejemplo, durante el siglo XX Chile floreció como el gran productor de cobre a nivel mundial gracias al descubrimiento de grandes depósitos y al desarrollo del método de flotación que permitió la separación eficiente de sulfuros. Se masificó el uso de metales de alto rendimiento como el aluminio o el titanio y, con esto, avances como la electricidad, los automóviles, los aviones, los teléfonos, los computadores y otros artefactos esenciales para nuestra rutina.

Durante la revolución y masificación del uso del acero, ocurrió un cambio de paradigma sobre cómo concebimos el valor de metales, ya que si en la Revolución industrial estos tenían un valor *per sé* (el del oro se relacionaba a su belleza, su brillo, y el del hierro siempre se ligó a su utilidad para hacer armas, armaduras o fabricar acero), con el hallazgo masivo del ramillete completo de metales la riqueza se empezó a medir según el uso que se les daba y la posibilidad de expandirlo. Fue así como el valor del titanio no tuvo nada que ver con su belleza, sino

con su utilidad para construir aleaciones de alto rendimiento usados en el transporte. Quizá la excepción más notoria es el oro, que, aunque se utiliza con fines industriales o técnicos, sigue teniendo un peso relativo a su belleza y uso ornamental (además comprarlo sigue siendo un excelente tipo de inversión porque su valor nunca cae).

Pero vamos por parte. O mejor dicho, vamos por descubrimientos y por algunas de las mentes geniales detrás de ellos.

Los Curie

Pocos casos en la ciencia se pueden comparar con el legado de Pierre y Marie Curie, tanto por sus descubrimientos como por la fascinante historia que los rodea. Marie fue la primera científica moderna que luchó incansablemente por su trabajo en un mundo y área por completo dominado por hombres, y aunque a muchos nos suenen como dos personajes ligados solo a la química y la física, debemos recordar que los elementos que descubrieron —el polonio y el radio— son (redoble de tambores) metales.

Marie Curie es de origen polaco. Sus padres eran profesores y creyentes de la importancia de la educación, pero las posibilidades de seguir estudios superiores en una Polonia bajo el mando de la Rusia imperial, eran casi nulas, especialmente para una mujer. Por esto migró junto a su hermana a París, donde trabajó como institutriz para poder mantenerla y permitirle estudiar Medicina. Una vez que su hermana se tituló, le tocó apoyarla para que ella estudiara Química.

Marie entró a la universidad de Sorbonne en París recién a los veinticuatro años, en 1891, bastante después de lo que uno imaginaría para una científica tan connotada y decisiva en nuestra historia (nunca es tarde para empezar a hacer lo que nos gusta).

Con Pierre se conocieron cuando Marie estaba en la universidad: apasionados por la ciencia, convergieron en su afinidad y

amor por ella, pero a fines del siglo XIX su relación mutó a algo sentimental y contrajeron matrimonio. Su conexión intelectual los llevó a formar la colaboración más pro de la historia, y me encanta pensar en cómo debe haber sido la sinergia entre ambos: ese vínculo en que cada uno potenciaba al otro con más y más ideas. De todas maneras, la de la «idea millonaria» fue Marie. Y es que para su tesis doctoral comenzó a estudiar el uranio, basada principalmente en el descubrimiento y descripción de la radioactividad —término inventado por ella— hecho por el científico Becquerel en 1896, que, a grandes rasgos, definía el fenómeno de la radiación como aquel producido por el decaimiento atómico de un elemento.

La radioactividad identificada por Becquerel describía cómo ciertos elementos emitían rayos; y Marie notó que dichas emisiones no tenían mucho que ver con el elemento en sí. Por ejemplo, compuestos con uranio o torio (ambos naturalmente radioactivos) emitían los mismos rayos, pero —y esto es lo que dio paso al gran descubrimiento— la intensidad de la emisión dependía de la cantidad de uranio o torio, no del elemento en cuestión. La observación la llevó a entender algo que puede sonar bastante simple, pero que para su tiempo fue la máxima revelación: el proceso ocurría en el corazón mismo del elemento, a escala atómica. Se dice que es la observación más importante de todas las que hizo.

Lo que vino después siempre nos pone los pies en la tierra a los científicos: cuando todo funciona muy bien en el laboratorio, debemos ver cómo se comporta en la naturaleza. Marie comenzó a revisar muestras de minerales de museos que contenían uranio o torio y se dio cuenta de que la emisión de radioactividad era mayor a la que había calculado estequiométricamente (es decir, basándose en la cantidad de uranio o torio calculada para un mineral según su fórmula química), lo que le permitió concluir que debía haber otro elemento en estos minerales responsable por la alta

emisión de rayos. Un metal que aún no había sido descrito, formado por el decaimiento radioactivo del uranio, que al ocurrir a escala atómica cambiaría o transmutaría el elemento en estudio a otro.

Varias páginas atrás, mencionaba la transmutación, la conversión del plomo en oro. Un concepto que no era posible de lograr a través de reacciones químicas simples, o de un laboratorio convencional. Y esto es porque la transmutación requiere de cambios en el corazón, en el átomo del elemento en cuestión. Requiere que el átomo de un elemento pierda o gane protones y/o neutrones, y que cambie su número atómico: ese número que define un elemento de otro. Este cambio a nivel atómico puede ocurrir de forma natural a través del decaimiento radioactivo, y ese proceso fue el que los Curie lograron identificar y describir.

Para poder comprobar la teoría de que existía un elemento nuevo aún más radioactivo que el uranio o el torio, los Curie tenían que conseguir una cierta cantidad de este y presentarlo ante el mundo. Así, estuvieron un período considerable juntando, moliendo e hirviendo toneladas de escoria de una mina de uranio de Bohemia que contenía cantidades considerables del elemento misterioso. Según cuentan, estos años de machacar y machacar fueron los más felices de la pareja, donde solo importaba la ciencia y los avances que podían hacer juntos.

Y todo el esfuerzo valió la pena porque comprobaron que la sustancia que lograron aislar era en efecto un metal diferente, un elemento nunca antes visto con una radioactividad más de trescientas veces mayor a la del uranio. Lo llamaron polonio en honor al país natal de Marie y, con su descubrimiento, el mundo científico acuñó oficialmente el término radioactividad. Más adelante pudieron aislar un segundo elemento metálico al que llamaron radio.

El trabajo de descubrir y aislar el polonio era el corazón de la tesis doctoral de Marie, trabajo que fue presentado en 1903 y es considerada la tesis más relevante de nuestra historia (yo

miro la mía con cariño y ternura, solo como un evento que me formó como científica). Sin embargo, no todo fue felicidad. A la pareja, el éxito de este arduo trabajo le empezó a traer problemas de salud ya que en la época no se sabía aún lo fundamental de protegerse ante la emisión de rayos. En 1903, el mismo año en que Marie presentó sus descubrimientos como parte de su tesis, Pierre recibió la noticia de que había sido nominado al Premio Nobel de Física y de manera categórica contestó que la nominación tenía que ser en conjunto con Marie, ya que era ella la protagonista del descubrimiento. Marie se convirtió en la primera mujer en obtener este reconocimiento: se erigió como la gran científica de los tiempos modernos a pesar de la casi inexistente participación de la mujer en la ciencia.

Pero la historia de los Curie y de su grandeza está lejos de terminar con este galardón: el descubrimiento del elemento radio no demoró en llamar la atención por su potencial uso en medicina, tanto para rayos X como para terapias de radiología. Decenas de fábricas comenzaron a ser construidas en Estados Unidos para producirlo en enormes cantidades; y Pierre y Marie —con la ética por delante y entendiendo el impacto que tendría para la medicina y el bienestar social— decidieron no patentarlo ni sacar ganancias de su producción. Su uso abierto y público implicó —aunque cueste creerlo— que los Curie, como miles de científicos hasta hoy, siguieron teniendo problemas para financiar su laboratorio y los avances producidos.

Antes de ellos nunca se les había dado mucha bola a los premios de Física o Química —el de Paz o Literatura siempre se llevaba la atención y la prensa—, pero con la historia de esta esforzada científica que migró desde Polonia, se generó un interés público que los convirtió en celebridades de la vida parisina. Pocos años después, en 1906, de manera trágica e inesperada Pierre murió atropellado por un carruaje, dejando a Marie viuda y con dos hijas. Contra viento y marea, ella continuó los trabajos que

tenían pendientes y decidió aceptar el puesto de académica en la Sorbonne de París, la primera mujer en ocupar esa posición.

En 1910 Marie ganó el Premio Nobel de Química, pero la noticia se vio eclipsada por una seguidilla de acusaciones de la prensa parisina que la tildaban de «rompehogares» por su supuesto affaire con Paul Langevin, su antiguo colaborador. Diversos medios publicaron comentarios de tinte racista aludiendo a su origen polaco, e incluso repitiendo una famosa oración publicada en tiempos de la Revolución Francesa, cuando Lavoisier fue enviado a la guillotina: «La república no necesita ningún científico». Una situación que escaló a tal nivel que a la comisión evaluadora le llegó la recomendación de reconsiderar el Nobel. Pero fue el mismo Langevin quien intercedió escribiéndole a la organización sobre la injusticia que se estaba cometiendo y lo irracional y ridículo de todo el revuelo.

Marie Curie recibió su segundo Nobel con un discurso magistral y luego cayó en una profunda depresión. Sin embargo, su carisma prevaleció y, con la llegada de la Primera Guerra Mundial, se trasladó con una maleta de veinte kilos de plomo y un pequeño cargamento de radio a un hospital de campaña para hacer funcionar rayos X y capacitar a las enfermeras para utilizarlo. Durante este tiempo, Irene, la hija mayor de los Curie, se unió a su madre y junto a ella se expuso a una cantidad considerable de radiación.

En 1920, la revista estadounidense *The Delineator* entrevistó a Marie y le preguntó un deseo que le gustase cumplir. Marie respondió que su mayor deseo era tener un gramo de radio para poder continuar con sus investigaciones, ya que no tenía el dinero suficiente para pagarlo. Su respuesta causó tanta impresión que una mujer americana llamada Mary Meloney lanzó una campaña para juntar fondos para las investigaciones de Marie, y reunió más de 100,000 USD (más de 1.2 millones de dólares hoy en día). Este suceso fortaleció las relaciones entre Marie y Estados Unidos.

En 1921, Marie y su hija fueron al país norteamericano a agradecer personalmente la ayuda y las donaciones hechas por el país. Por su parte, Irene Curie también siguió una carrera en ciencias junto a su esposo, el científico Frederic Joliot, y descubrieron la radioactividad artificial con su madre como testigo del gran logro. Sin embargo, en 1934 Marie falleció de leucemia y no alcanzó a verlos ganar el Premio Nobel de Química un año después (Los Curie son la familia con más Nobeles de la historia).

El legado de todos estos descubrimientos cambió la forma en que entendemos el mundo, la química y la física, al punto de que se tuvo que implementar la física cuántica para poder trabajar con esta nueva realidad. La radiación, como sabemos, tuvo tremendas implicancias para la medicina, la energía y, tristemente, para la producción de armamento bélico.

Pero queda un mini mini dato rosa espectacular que no puedo dejar de compartir.

La hija de Irene Curie y Frederic Joliot, una aclamada astrofísica llamada Helene Joliot, se casó con nada más ni nada menos que el físico Michel Langevin, nieto de Paul Langevin, el mismísimo protagonista del escándalo.

El mundo desde el metal alado

Cuando pensamos en un metal se nos vienen a la cabeza los clásicos: oro, plata, hierro o cobre, pero cambia un poco la perspectiva de todo cuando recordamos que elementos como el polonio, el radio, el uranio o el torio también lo son. Es cierto que son menos comunes ante nuestros ojos, pero no por eso menos útiles en la cotidianidad. Creo que todos nos hemos sacado rayos X alguna vez, y es fascinante pensar que detrás de este procedimiento médico al que estamos acostumbrados hay metales presentes.

Con lo que hemos compartido es fácil ver que cada vez los protagonistas son aquellos metales no convencionales, pero existe una gran-gran excepción: el aluminio.

Les apuesto que después de lo que viene, van a mirar el papel aluminio con más cariño que antes.

El aluminio

¿Cuántas cosas fabricadas con este metal ocupamos a diario? Miro las ventanas de mi departamento y veo marcos de aluminio simple, también en la querida sartén que me regaló mi mamá hace un par de navidades, en los cubiertos que uso, en las latas de bebestibles (cerveza, bebida, ¡hasta vino!). ¿Los aviones? De aluminio (de hecho, sin él es imposible construirlos y pilotarlos, y ni pensar en llegar a la luna). Este metal revolucionó definitivamente nuestra sociedad: puede sonar a disco rayado, pero es cierto, está a otro nivel de revolución y fue el más popular del siglo XX.

El ser humano conocía el aluminio desde hace un tiempo — hay relatos de la época romana que describen un vaso hecho de un metal plateado mucho más liviano que la plata—, así que no es como que un día alguien encontró una roca con aluminio y se le ocurrió empezar a usarlo: el camino fue largo. Su principal problema es que es un elemento muy reactivo o «sociable» (lo contrario a un elemento nativo), bueno para juntarse con otros de manera estable.

Similar a la tabla periódica, la historia de este metal tiene su peak con dos personas haciendo el mismo descubrimiento en lugares distantes. Antes de salir al mundo como lo conocemos en la actualidad, el aluminio era usado como una sal llamada alum, donde Al se juntaba amigablemente con una molécula de OH. Los griegos descubrieron que la madera se hacía casi imposible de quemar si se le cubría con alum, por lo que empezaron a utilizarlo para proteger su armamento cuando iban a la guerra y

también en industrias como la del cuero para la curtiembre, del papel, e incluso en medicina para dermatología, cosmetología y oftalmología (nuestros desodorantes siguen teniendo alum, también los productos que usamos para el famoso skincare).

Todo bien con esto, pero el desafío real era aislar el Al del OH, asunto que se hacía casi imposible acudiendo solo a reacciones químicas clásicas. El panorama empezó a cambiar cuando en 1808 un químico inglés llamado Humphry Davy se dio cuenta de que el aluminio podía ser producido o aislado a través de electrólisis, reduciendo el estado de oxidación de la alúmina (óxido de aluminio). Si bien Davy no pudo pasar de la teoría a la práctica, la chispeza de su idea se propagó y pocos años después, en 1825, un químico danés llamado Hans Christian logró producir una aleación con aluminio ocupando el método de electrólisis propuesto. La posta de los avances fue tomada por un químico alemán llamado Friedrich Woehler, que logró producir treinta hermosos gramos de polvo de aluminio en 1827 y, dieciocho años más tarde, optimizando el método de electrólisis, fabricó unas pequeñas «perlas» o cuentas de aluminio puro refinando.

La magia final ocurrió en 1886, cuando, en dos lugares distintos del globo, dos químicos — Charles Martin Hall en Ohio, Estados Unidos, y Paul Héroult en Normandía, Francia— tuvieron casi la misma idea: pasar corriente eléctrica a través de una masa fundida de alúmina disuelta en criolita (Na_3AlF_6 , un hexafluoraluminato de sodio) para conseguir juntar un «charquito» de aluminio puro al fondo del recipiente de la mezcla. El proceso demostró funcionar de maravilla para sacar y aislar el aluminio. ¿Lo malo? Consumía bastante electricidad. Uno puede pensar qué tan terrible es, si tantas cosas en nuestras vidas ocupan electricidad, pero recordemos que esto pasó a fines del siglo XIX y no existían los sistemas eléctricos actuales.

Pero como buenos científicos, tanto Héroult como Hall buscaron soluciones y lograron sobrellevar el problema. La solución

de Héroult fue hacer sus experimentos al lado de una cascada en Neuhausen, Suiza, y ocupó la fuerza del agua al caer para generar energía hidroeléctrica y hacer su electrólisis. No fue gratuito, eso sí, ya que mediante un acuerdo tuvo que aliarse con la sociedad metalúrgica suiza y con un santo patrono alemán amante de las industrias emergentes, con quienes dio inicio a la empresa de la industria del aluminio cuyo logo representaba «el amanecer de un nuevo metal». Al otro lado del charco, Halls, con el apoyo de sus amigos, se instaló en Pittsburg para formar la empresa reductora (el proceso vinculado a la electrólisis) de la ciudad. Ambas iniciativas fueron tremendamente exitosas: la primera produjo cuatrocientas cincuenta toneladas de aluminio en 1895 —solo diez años después de descubrir el método de electrólisis— y la segunda producía doscientos cuarenta kilos diarios de aluminio para 1890. Por suerte, en este caso la ciencia no enterró a un científico sobre otro y honró tanto a Hall como a Héroult, llamando «Hall-Héroult» al método que descubrieron en simultáneo. Una increíble coincidencia con final feliz.

La guinda de la torta de la aislación del aluminio la aportó el químico austríaco Karl Bayer. El problema con el método Hall-Héroult era que ocupaba alúmina del mineral criolita, que es de aluminio, pero nada común y solo se sacaba de una mina en Groenlandia. Al ser un mineral exótico, de inmediato saltaban a la vista los límites y el costo para procesar el aluminio. El aporte de Bayer fue descubrir un método para producir alúmina desde la bauxita (aquella roca sedimentaria que se forma en ambientes tropicales y tiene un contenido de aluminio que no es «wow, qué alto», pero sí de fácil acceso y bajo costo de extracción).

Bayer no era científico catedrático en una gran universidad, sino un químico consultor que trabajaba para una empresa textil en San Petersburgo, Rusia, que hizo su descubrimiento mientras buscaba soluciones para mejorar el costo de producción de esta. Sus resultados son una excelente muestra de que la ciencia

aplicada es igual de relevante que la ciencia más tradicional. Los años que siguieron se mantuvo trabajando como consultor hasta que abrió una fábrica de alúmina en su natal Austria, que sorpresivamente nunca contó con fondos suficientes para funcionar.

Entre Hall, Héroult y Bayer lograron destrabar los secretos del aluminio abriendo la puerta a la revolución del metal plateado. Los costos de producción del aluminio bajaron y se empezó a usar de forma masiva en productos del día a día como joyería, marcos de anteojos, instrumentos ópticos, cuchillería y el famoso alusa. Además, con su súper gracia de ser más liviano que otros metales convencionales y su capacidad para alearse logró convertirse en un elemento esencial en áreas como la aviación (de ahí que se le conozca como «metal alado»).

En 1903, los aviadores conocidos como «los hermanos Wright» volaron por primera vez en la historia un aparato controlado de manera exitosa, patentado por ellos como aeroplano. Primero ocuparon un motor de automóvil para sus prototipos, pero al ser tan pesado para volar se les ocurrió fabricarlo solo con aluminio. Llevaron a cabo la prueba y ¡sorpresa! tuvieron su primer modelo de avión funcionando. El otro gran momento del aluminio en la aviación fue la invención del duraluminio, una aleación de este con cobre, magnesio y manganeso que hoy es *EL* metal del transporte debido a sus características: fuerte, duro, elástico, resistente a altas temperaturas y a alta presión, con baja corrosión y, sobre todo, liviano. Su nombre proviene de la localidad alemana de Dürun, donde el científico Alfred Wilm descubrió la receta magistral para esta fantástica aleación. ¿Algo impresionante? Pocos años después de que inventara el duraluminio, comenzó la Primera Guerra Mundial y los alemanes lo ocuparon con ganas en sus aviones de guerra, guardando la receta bajo siete llaves.

La producción de aluminio se incrementó para la Segunda Guerra Mundial por la fabricación en masa de aviones de guerra,

tanques y automóviles, y la necesidad de una mayor cantidad de metales presionó a los países aliados a buscar nuevas aleaciones para mejorar la eficiencia en la fabricación y manejo de los aviones. Se dice que el poco querido Joseph Stalin, líder de la Unión Soviética, le mandó una carta al presidente de Estados Unidos Franklin Roosevelt pidiendo treinta mil toneladas de aluminio para ganar la guerra de una. Así no más con el metal alado y sus miles de posibilidades.

El aluminio literalmente le dio alas a nuestra sociedad, tanto dentro como fuera de la atmósfera su uso durante la carrera espacial de mediados del siglo XX fue esencial. En 1957, la Unión Soviética lanzó su primer satélite al espacio, compuesto por dos semi esferas de aluminio y, desde ese momento, todos los cohetes y naves espaciales se han fabricado con el mismo metal y aleaciones de este. El aluminio también nos dio alas en términos de velocidad y el famoso Shinkansen, tren japonés de alta velocidad construido a base de aluminio, fue el modelo a seguir para los demás trenes de su especie.

La producción de este metal brilló durante todo el siglo XX, puesto que además del transporte y la tecnología jugó un rol esencial en la construcción (para fabricar techos, cableados, ventanas y otros). Ya para 1990 se producían más de diecinueve millones de toneladas de aluminio y la cifra se disparó en China que en los 2000 se convirtió en su productor oficial. Como el gigante asiático usaba energía termoeléctrica a carbón para la producción masiva del aluminio, emanaba grandes cantidades de gases de efecto invernadero, generando un impacto medioambiental para nada positivo.

Los desafíos para la industria del aluminio comenzaron en 2008 durante la crisis económica global que le pegó durísimo a potencias como Estados Unidos (la célebre crisis subprime), debido a que enfrentó los costos de una sobreproducción y la caída del 50 por ciento en el precio del metal, que llevó a la quiebra a más de una empresa minera dedicada a la extracción de bauxitas.

Junto con las mineras, varias fundiciones de aluminio —en especial las del mundo occidental— tuvieron que cerrar. Aunque suene increíble, en lugar de parar su producción, China la incrementó y demostró que su economía interna era mucho más estable e independiente del resto del mundo: un indicador de cómo se estaba convirtiendo en la potencia mundial que conocemos hoy.

Descubrimientos científicos, avances tecnológicos y crisis económicas van de la mano con el uso y evolución de los metales. Sin embargo, el caso del aluminio es destacable porque significó un impulso para crear aleaciones cada vez más eficientes y resistentes y llevó a crear materiales de alto rendimiento que propiciaron enormes cambios. Detrás de las posibilidades que entrega hay algo increíble: su presencia se tradujo en que científicos e ingenieros empezaran a «personalizar» metales, a pensar en cómo manipular su composición y estructura para aplicarlos en situaciones particulares. Este cambio de paradigma implica que la lógica mutó de descubrir un metal y después aprender a usarlo, a encontrarnos frente a un problema específico y buscar o fabricar el metal apropiado para solucionarlo. A estos últimos se les denominó metales de alto rendimiento y el primero en crearse fue el acero.

Cientos de aleaciones se han fabricado para agregar metales como cromo, níquel, manganeso, molibdeno o vanadio a la receta básica del acero y hacerlo más resistente y versátil. Añadimos ingredientes como si estuviésemos probando condimentos nuevos en una receta antigua para hacerla interesante y conseguir más dureza, evitar la corrosión, darle flexibilidad al material, o potenciar sus propiedades eléctricas o magnéticas. Con el tiempo hemos perfeccionado las recetas con aluminio, haciendo aleaciones cada vez mejores sin alterar su ligereza, y también las de otros metales que, gracias a la combinación de cantidades variables de los condimentos que hicieron la gran diferencia en el siglo XX, permiten fabricar tecnología cada vez más avanzada y eficiente.

Guerras mundiales, guerras por metales

El siglo XX es sinónimo de avances, pero también de enfrentamientos brutales que sacudieron al mundo. A nivel global presenciábamos conflictos geopolíticos que provocaron que imperios completos se desarmaran (como el austrohúngaro) y naciones emergentes se transformaran en líderes globales (como Estados Unidos). ¿Pero cuáles eran los motivos de estas agresivas expansiones y conquistas?

La búsqueda de poder ligada a la ideología siempre estuvo acompañada de la búsqueda de metales y materias primas. Las guerras mundiales más recientes fueron las primeras que se pelearon post Revolución industrial y en plena revolución energética, por lo que la tecnología y la necesidad de diversificar las materias primas jugaron un rol primario y quizás principal. Pensemos en lo que se necesita para pelear una guerra: soldados, armamentos, sí; pero también pistolas, tanques, buques, aviones, municiones, trincheras. Casi todo hecho de metales, en específico de aleaciones de acero con cobre, tungsteno, níquel y cobalto. Por lo tanto, las naciones quienes tenían acceso a metales y recursos naturales estaban en una posición aventajada para triunfar: lección que nos tomó treinta años y dos guerras aprender.

La Primera Guerra Mundial —iniciada en 1914 luego del asesinato del archiduque Francisco Fernando y su esposa— catapultó el conflicto a través de Europa que continuó hasta 1920. Rápidamente se entendió de que el espíritu guerrero no definiría al ganador, sino el armamento e infraestructura que tuviesen las naciones involucradas. De este modo, se hizo evidente la relevancia de las importaciones de materia prima y tanto Europa occidental como Estados Unidos —grandes consumidores de energía— se percataron de que la guerra había cortado los suministros que enviaban al exterior. Como esta fue una guerra industrial que demandó altas cantidades de armamento y

munición, cada estrategia terminó chocando con la dificultad de conseguir los recursos necesarios para darles motor y energía a transportes, armas e instrumentos de protección.

Finalizado el conflicto, diferentes naciones comenzaron a controlar el uso de metales e identificaron veintiocho «recursos críticos» —parecido al término que usamos hoy para referirnos a aquellos metales o minerales imprescindibles para la transición energética— cuyo uso se dificultó durante la guerra por falta de oferta. Entre ellos se encontraban el petróleo, el carbón (específicamente el que se utilizaba para fabricar acero), el hierro (también pensado para el acero), el cobre (vital para cualquier cosa que implique cableado eléctrico), el aluminio (porque había que darle alas al batallón) y la familia de metales para ferroaleaciones, más o menos esenciales para el acero: níquel, manganeso, cromo, molibdeno, cobalto y tungsteno.

Por ejemplo, en general un barco de guerra está fabricado con un acero que tiene alrededor de 1-3 por ciento de cromo, 1 por ciento de manganeso y níquel, y un pequeño porcentaje de molibdeno. Si se quería un barco muy fuerte, se le podía agregar un poco de cobalto a la aleación de acero. Las proporciones cambian cuando hablamos de armamento: el acero ocupado para fabricarlo requería cantidades aún mayores de los metales usados para ferroaleaciones y, para mover un batallón compuesto de tanques y automóviles durante ciento cincuenta kilómetros, se necesitaban casi ciento cincuenta mil litros de petróleo. Estos mini ejemplos sirven para darnos cuenta de lo esencial que fueron los recursos minerales para enfrentar una guerra (el puro espíritu combativo servía bien poco si te tiraban un tanque encima).

Luego de la Primera Guerra Mundial, la gente estaba «basta, no más conflictos», y lo reflejó en el nihilismo y desenfreno de los locos años veinte. Pero la alegría duró poco y, en la década del treinta, una severa crisis económica empujó a la sociedad a una profunda depresión económica que pobló de desilusión e

incertidumbre a buena parte del mundo. Con las pasiones militares reflatando y las ansias de distintos países de seguir expandiendo sus territorios, se abrió un círculo vicioso que tuvo nuevamente a los metales en el centro. Se necesitaba más acero para armamento y consumo. Y en paralelo, las restricciones económicas y políticas impuestas a naciones como Alemania fueron caldo de cultivo para la aparición de dictadores cuyos eslóganes se basaban en el nacionalismo, en un discurso «patrio» centrado en cómo el resto del mundo los oprimía y humillaba. Salvar la autoestima del país era imperativo y, para esto, se necesitaban recursos. Algo similar pasaba en Japón que, ante el temor del ejército de una escasez de acero, carbón y petróleo, comenzó a planificar una estrategia expansiva para conseguir recursos suficientes. En paralelo, los fascistas italianos andaban en las mismas cuando notaron que un 90 por ciento de los recursos naturales que usaban venían del Mediterráneo o de Gran Bretaña.

La filosofía de la autarquía —la no dependencia de otras naciones para poder existir— empezó a tomar fuerza, y con ello la urgencia por hacerse de todos los recursos naturales posibles para así no requerir importaciones ni tratos con otros países. Pero como bien sabemos, los metales no están repartidos de manera homogénea por la corteza terrestre. Así que por muy grande que sea un territorio, es casi imposible que contenga todo lo necesario para vivir con el nivel de tecnología que conocemos, o incluso con el nivel de desarrollo y uso de metales de los años treinta.

Gracias al colonialismo desatado en continentes como África y América, varios países europeos estaban a salvo en términos de recursos naturales: bendecidos en términos de riqueza metalífera, podían vivir tranquilos sin necesidad de invertir demasiado. En el caso de Alemania, después de la Primera Guerra perdió la mayoría de sus territorios con producción metalífera. En el caso de Estados Unidos e Inglaterra, en tanto, para 1930 —contando sus colonias— controlaban un 75 por ciento de los metales

críticos encontrados hasta ese entonces en el planeta, bastante más que el 11 por ciento controlado por Alemania, Japón e Italia juntos. La mayoría del porcentaje restante estaba en posesión de la Unión Soviética y, en términos de petróleo, la diferencia era aún más dramática, ya que Alemania, Japón e Italia solo tenían un 3 por ciento de las reservas a nivel mundial. Esta terna de naciones empobrecidas en recursos naturales terminó convirtiéndose en el Eje, y entre ellas, Italia era la peor parada porque debía importar casi todos los metales y petróleo necesarios para funcionar. Japón andaba por ahí no más, aunque salvaba con considerables producciones propias de carbón y cobre; y los alemanes —que antes de la guerra tenían minas de hierro, cobre y algunos de los metales para ferroleaciones— solo estaban regio en carbón tras el Tratado de Versalles.

El desacople entre ambiciones de autosuficiencia y falta de metales motivó a Japón, en 1931, a conquistar Manchuria, en China, con el objetivo de apropiarse de sus recursos de hierro y carbón (y ante esto, La Liga de las Naciones —organismo que antecedió a las Naciones Unidas—lo llenó de sanciones). Un par de años después, en tanto, los nazis llegaron al poder en Alemania con un programa de reconstrucción de la nación que incluía su economía, armamento y orgullo patrio. Creían que lo justo era una redistribución de los recursos que les asegurara una cantidad mínima para recuperar su capacidad industrial independiente, lo que incluía la devolución de las colonias que alguna vez fueron alemanas. A pesar de cómo suena, lo cierto es que los nazis no estaban esperando negociar con el resto del mundo esta gran propuesta. Poco a poco comenzaron a prepararse para una nueva guerra, entrenando soldados y expandiendo su ejército, pero sobre todo reuniendo suficiente materia prima para poder combatir y avanzar (aka, metales).

En esta línea, el equipo de los que no tenían se puso silenciosamente en modo «el que junta siempre tiene». Tanto los alemanes

como los japoneses empezaron a reunir todas sus antiguas monedas fabricadas con aleaciones de plata y cobre y las rehicieron cien por ciento con níquel que, aunque más costoso, en caso de guerra se podían tirar a la olla y se transformarlas en aleaciones de acero. La movida estuvo bien pensada porque casi el 90 por ciento del níquel de ese entonces provenía de Canadá (específicamente de Sudbury) y Nueva Caledonia; y en caso de estallar la guerra, no iban a tener dónde comprarlo. Los alemanes también se pusieron las pilas en cuanto a tecnología y exigieron a sus científicos avanzar lo más rápido posible en la producción de petróleo sintético para no quedarse sin abastecimiento. En esta recolección de metales hubo presión y prohibición, ya que los nazis impidieron utilizar cobre y otros metales para ferroaleaciones en construcciones civiles, con el fin de cuidar la pequeña reserva que tenían a nivel país.

Hasta 1934, tanto Alemania como Japón le aseguraban al mundo que sus movidas estratégicas con metales críticos tenían fines pacifistas, que solo miraban el desarrollo industrial interno y sus nuevas monedas eran fabricadas con níquel nada más que por una cuestión estética. Por supuesto, nadie les creyó, y sus movimientos hicieron que otros empezaran a preocuparse por los recursos metálicos o energéticos que dispondrían ante un conflicto. Ese mismo año, un consejo estadounidense especializado en recursos naturales recomendó al país que se subiera al tren de la acumulación invirtiendo millones en la compra de metales. Por razones políticas el gobierno no lo hizo, pero sí dejó de exportarlos a otros países entre los que estaban Alemania y Japón. Los ingleses, por su lado, estaban preocupados de que esta necesidad de compra de Alemania y Japón eventualmente repercutieran en sus colonias africanas, porque la gran mayoría de los recursos metálicos disponibles venían de ahí.

Cada uno remando para su lado.

En 1936, esas ganas de autonomía llegaron al punto de impulsar a las naciones sin metales a mirar a sus vecinos con cara

de conquista. Hitler proclamó un plan de cuatro años para que Alemania asegurara importaciones de todos los metales que necesitara y consiguiese la autarquía. Los japoneses, en tanto, comenzaron a planificar invasiones a otras partes de China porque consideraban que Manchuria les estaba quedando chico. Dos años después todos estaban juntando metales y, de pronto, Alemania comunicó al mundo entero que ya no era un país sino un imperio que conquistaría territorios vecinos. Para 1939, Austria y Checoslovaquia fueron anexados al imperio nazi. La Unión Soviética, histórico enemigo de Alemania, temía un posible intento de conquista porque no habían estado juntando metales para una guerra. De hecho, durante la década del treinta, Stalin se había dedicado por completo a la purga de traidores que terminó con casi todos sus generales encarcelados, así que, además de metales, les faltaba gente que luchara. En un giro estratégico, la Unión Soviética les ofreció una venta continua de metales a los nazis e incluso desvió a Alemania las exportaciones que iban dirigidas a Estados Unidos. El plan fue un fracaso: los nazis intentaron conquistar a la Unión Soviética y esta estuvo aún menos preparada para enfrentar el conflicto que se desató en el crudo clima invernal que los azotaba.

A poco de estallar la Segunda Guerra, las potencias del Eje se prepararon para pelear con todos sus recursos disponibles. Los japoneses expandieron sus invasiones por Asia aprovechando que Francia e Inglaterra no estaban tan al tanto de que iba a reventar todo; e Italia —el más débil de los tres— no tuvo el éxito que esperaba porque algunas de las tierras conquistadas en África, no dieron la cantidad prometida de frutos en metales ni contaban con suficientes profesionales capacitados para explotar los depósitos metálicos o de petróleo y gas. Para septiembre de 1939, la guerra ya había comenzado y el nazismo y fascismo atacaron con fuerza a los Aliados en clara desventaja. Alemania partió invadiendo Polonia, Austria y Checoslovaquia para hacer

suyos los depósitos de cobre, y por el lado opuesto, Inglaterra tomó la desesperada decisión de bloquear Bélgica que, aunque era un país neutro, recibía gran parte de las importaciones de metales que venían del Congo. Para salvarse de ser conquistados, los belgas enviaron sus exportaciones a Estados Unidos que, por el momento, también se mantenían neutrales. A estas alturas, los nazis no tenían problemas de recursos porque junto con conquistar diversos territorios mantenían la reserva de cobalto y níquel que formaron antes de que desataran el conflicto y, siguiendo su plan, fundieron las monedas para tener mucho acero disponible (en la actualidad solo se conocen dos ejemplares que se salvaron de ser convertidas). Por último, apenas fueron atacados, los soviéticos invadieron Finlandia para levantar sus minas de níquel y así tener su propio almacenamiento bélico.

A pesar de su preparación, es vital recordar que los alemanes estaban haciendo una apuesta arriesgada y de corto plazo: almacenar metales en la cantidad necesaria para poder dar inicio a la conquista y reabastecerse con los nuevos ingresos hasta lograr ser autosuficientes. Al inicio de la guerra, solo tenían riquezas para seis meses de armamentos, así que era imperativo moverse rápido. Comenzaron por Francia y los Países Bajos, debido a que el primero contaba con depósitos de hierro, aluminio y una fuerte industria de acero; y el segundo —junto a Bélgica, que terminó siendo conquistado— poseía grandes refinерías donde procesaba todo el material que le llegaba de sus colonias en África. Para finales de 1940, nazis y fascistas habían conquistado una buena parte de Europa occidental. Por el Pacífico, Japón estaba haciendo de la suyas con éxito, acaparando Indochina y sus minas de estaño, zinc, hierro, manganeso, cromo y aluminio. Su ocupación tenía la ventaja de que —previo a la conquista— la minería indochina iba para Europa occidental y Estados Unidos, así que la ganancia era doble porque de paso dejaban al enemigo con menos recursos.

La estrategia inicial de Inglaterra para detener los avances del Eje, era apoderarse de todos los barcos con petróleo y metales de interés que salían de las colonias africanas rumbo al naciente imperio y redirigirlas hacia su territorio o a Estados Unidos, cortando de raíz el suministro de materia prima. Unos piratas justicieros. Sin embargo, el problema para concretar el plan era que no todos los países formaban parte de la división Aliados/Eje, y quienes se mantenían en una postura neutra vendían los recursos al mejor postor. Varios de los gobiernos sin alianza aprovecharon la situación jugando para ambos equipos hasta llenar sus arcas fiscales o bolsillos particulares. España y Portugal subastaron abiertamente su tungsteno y, en un año, subieron más de 1000 por ciento el precio de la tonelada.

Entrada la guerra, los alemanes consiguieron aumentar su níquel apoderándose de las reservas que otros países tenían del metal, lo que fue de algún modo «pan para hoy, hambre para mañana», dado que en 1941 un cambio brusco en las disputas por metales y petróleo generó que el país vaciara con rapidez sus reservas. Mientras fabricaba armamento sin tener cómo reemplazar el material, Alemania se lanzó a la conquista de Bulgaria y Grecia para afirmarse con los metales, pero seguía sin contar con depósitos de petróleo y el hierro era insuficiente para continuar con el ritmo de la producción de acero. La solución más lógica se encontraba hacia el este: la Unión Soviética, que continuaba vendiéndoles metales a los nazis creyendo que su enorme producción los ayudaría a ganar la guerra. Por suerte, la historia fue otra. Los alemanes lograron hacerse de los depósitos ubicados en el borde occidental de la Unión Soviética, pero la conquista no prosperó y tuvieron que conformarse con un monto limitado de recursos.

Por su parte, los japoneses empezaron a sufrir las consecuencias de la escasez de petróleo y, por más que invirtieron para fabricar del sintético, sus esfuerzos llegaron demasiado tarde. ¿La

solución? Agrandar las conquistas hasta conseguir recursos suficientes para pelear la guerra. La ampliación fue tal que Japón llegó a tener casi total autonomía en cuanto a recursos naturales, algo nunca antes visto en la historia.

Hacia fines de 1941, lo que había comenzado como un conflicto entre países europeos, se estaba convirtiendo en un enfrentamiento de escala mundial y el pequeño porcentaje de recursos naturales que tenían las naciones del Eje preguerra estaba superando el 30 por ciento de la riqueza mundial. Si Japón continuaba con sus conquistas por Asia, la cifra de manejo de recursos metálicos aumentaría a 50-50 entre las dos potencias, y las potencias del Eje obtendrían una posición peligrosamente favorable. Los «no tienen» estaban convirtiéndose en los que «sí tienen». Pero invadir un territorio no siempre significaba conseguir una producción óptima de recursos, y las acciones de sabotaje de rebeldes —o la destrucción previa de las minas— dejaba muchas veces las instalaciones sin poder funcionar. Fue durante este período que Estados Unidos se metió a la guerra con todo, alarmado porque el conflicto se estaba saliendo de control. Su fabricación de armamento fue veloz y el servicio geológico del país se puso en modo turbo para descubrir nuevos depósitos. Encontraron más cobre (en un año recolectaron millones de toneladas), molibdeno, monedas hechas con metales de ferroatomía que se convirtieron en acero, y racionaron el uso de metales y petróleo para civiles. Junto a Inglaterra, Estados Unidos compró metales de interés en lugares como Latinoamérica y África —para asegurarse de que no llegaran a manos de los nazis—, e incluso subsidió la mecanización e industrialización de minas en África para aumentar su producción y comprar los metales extraídos. Además, en paralelo presionó a los países neutrales para que dejaran de venderles metales y petróleo a los del Eje.

Habiendo perdido la mayoría de sus minas frente a los nazis, la Unión Soviética se puso las pilas en explorar el resto de su vasto

territorio buscando depósitos. Aparecieron nuevos y gigantes depósitos de níquel, como la maravilla de Norilsk que, para 1942, producía más de 120 mil toneladas anuales de metal —a costa de trabajo forzado implantado por Stalin—, superando la producción anual actual de enormes depósitos situados en Canadá y Australia. Esto les dio a los soviéticos nuevas fuerzas para enfrentar a los nazis.

Pausa: cazando submarinos y entendiendo la tierra

En 1943, los países del Eje comenzaron a perder fuerzas por la falta de petróleo y los esfuerzos para enviarlo vía marítima entre las potencias del conglomerado fracasaban a medida que los submarinos de Estados Unidos destruían la fuerza naval japonesa (se dice que eliminaron más de 1300 barcos de guerra enemigo en el Pacífico, lo que equivalía al 55 por ciento de todos los barcos del Eje). Imagínense cuánto metal, cuánto acero terminó en el fondo del mar después de esto. Y es que no solo los Aliados tenían submarinos, y mientras se peleaba una guerra en la superficie con tanques, humanos y aviones, otra afloraba bajo el mar entre naves enemigas. Los submarinos tenían la gran ventaja de ser invisibles sobre la superficie, lo que los hacía una verdadera arma ninja que pillaba a los barcos de improviso, y ambos bandos comenzaron a perseguirlos sin parar (lo que es casi tan fácil como encontrar una aguja en un pajar).

Estas embarcaciones eran fabricadas con acero, por lo que se hizo imperativo crear un aparato que pudiese armarse dentro de un submarino y que identificara alguna presencia anómala del metal en el océano a partir de su magnetismo (al tener un alto contenido de hierro, el acero va a tener un cierto grado de magnetismo). El instrumento deseado lo llamaron magnetómetro, un instrumento inicialmente creado más de cien años antes, pero en un formato imposible de subir a un submarino. Este primer magnetómetro —fabricado en 1833— era bastante simple

y consistía en dos barras de imanes suspendidas en el aire gracias a una fibra, con una determinada distancia entre una y otra. La deflexión (cuánto se mueve del norte geomagnético esa barra que cuelga) dependía de la intensidad del campo magnético y de cuánto tiraba el segundo imán. El desafío para los Aliados era poder crear una versión portable de este primer magnetómetro.

Así, en 1936 se avanzó hacia el magnetómetro de flujo: un instrumento en el que una barra de hierro es envuelta por dos bobinas de alambre y una de ellas lleva corriente alterna modificando el estado magnético de la barra, primero saturándola con magnetismo y luego lo contrario. Fueron esos cambios los que ayudaron a determinar que el magnetismo se generaba en el campo magnético de la tierra y también a identificar el magnetismo externo asociado a otros objetos metálicos (como submarinos). Con el conocimiento a disposición, el desafío era convertir este magnetómetro de flujo en un objeto portátil y, en 1941, lo consiguió el científico geomagnetista ruso Victor Vacquier. Sus avances llamaron la atención de la marina de Estados Unidos, que entendió que ahora podría identificar submarinos y convertirlos en blancos de destrucción. En solo un año, pasó a ser el accesorio de moda en los submarinos norteamericanos.

Más allá de felicitar a todos quienes ayudaron a desarrollar instrumentos portátiles de medición de parámetros físicos, lo increíble de esta historia es que su uso permitió que quienes recorrían las aguas en busca de enemigos, se dieran cuenta de que la señal magnética del suelo marino no era homogénea: es decir, sucedió uno de los descubrimientos más revolucionarios para la geología y para nuestro entendimiento del planeta.

Les cuento por qué.

La corteza oceánica está formada en gran parte por rocas ígneas con enorme contenido de minerales altos en Fe (importante recordar el suelo marino, esa cinta transportadora por la que sube magma nuevo). Ahora: el magnetómetro mide la variación

magnética con respecto al norte magnético, que hoy apunta hacia el norte geográfico. Si el campo magnético fuese estático, si los continentes o las placas tectónicas fueran estáticas, esa señal medida por este instrumento en el fondo marino sería homogénea, pero se comprobó que no era así.

Cuando terminó la guerra los científicos estaban en llamas, listos para probar el magnetómetro portátil mapeando el magnetismo del fondo marino. Los mapas que obtuvieron fueron absolutamente alucinantes, un patrón tipo cebra reveló que la polaridad de los minerales cambiaba, de manera simétrica, confirmando dos cosas: el norte magnético se mueve y el fondo marino no es estático y va creciendo. Este patrón fue la evidencia irrefutable que la ciencia necesitaba para demostrar que existía la expansión del fondo marino, y con su descubrimiento los científicos hicieron lo que mejor saben hacer: organizar una gran conferencia para sentarse a discutir, analizar los datos encontrados y descifrar qué diablos estaba pasando.

En 1966 se juntaron cien científicos y científicas en un simposio de dos días en la universidad de Columbia, en Nueva York, y plantearon de manera oficial la célebre teoría tectónica de placas. Desde ese momento, la forma en que concebíamos el funcionamiento interno de nuestro planeta cambió radicalmente y se abrió una ventana hacia nuevos conocimientos. 1966 fue hace muy muy poco tiempo. Mi primer profesor en la carrera, el legendario geólogo chileno Francisco Hervé, estudió antes de que se descubriera la teoría de las placas tectónicas y, por supuesto, nuestras primeras conversaciones fueron sobre qué se estudiaba en ese entonces, qué hipótesis había, cómo fue enfrentarse a ese cambio de paradigma siendo ya profesional. Me contó que cuando recién apareció la teoría no todos los científicos gritaron «*ieureka!*», se abrazaron y lloraron de felicidad, sino que, como ante todo gran cambio, existió una reticencia a aceptar que la manera en que concebíamos nuestro mundo iba a cambiar por completo.

Pero volvamos a la guerra.

Estados Unidos estaba desatado destruyendo barcos japoneses para bloquear cualquier tipo de traspaso de metales o petróleo entre las naciones del Eje, conglomerado que para el verano boreal de 1943 ya estaba debilitado en recursos y cuyo avance en la guerra comenzaba a convertirse en retroceso por no poder fabricar armamento. Fue en este escenario de desgaste que un nuevo metal estratégico apareció: el uranio. ¿Pueden adivinar por qué?

El comportamiento radioactivo de este mineral y su potencial ya había sido descubierto y definido durante los años treinta, y para 1941 tanto alemanes, japoneses, estadounidenses, soviéticos e ingleses estaban evaluando las posibilidades militares que entregaba el uso de la energía liberada al romper un átomo de uranio. Los depósitos más grandes que existían en la época se situaban en el Congo, que continuaba siendo colonia belga y exportaba sus recursos a los Aliados. Alemania también tenía una buena cantidad de uranio, que sacaba de minas en Checoslovaquia y luego enviaba en parte a los japoneses para que pudiesen llevar a cabo sus experimentos. Junto con usar el uranio del Congo, Estados Unidos descubrió sus propias minas en Utah, Colorado y Arizona, donde en tiempos anteriores el uranio se consideraba un elemento contaminante sin valor económico.

Para 1944, el Eje estaba decaído en términos de resistencia y las naciones bajo su poderío no contaban con muchos recursos metálicos. Debieron abandonar algunos de los territorios conquistados y, un año después, con la fuerza militar alemana desmoronada y los japoneses sin petróleo para sus aviones y tanques, se comenzó a vislumbrar el fin de la guerra. Su final se concretó con la caída de las bombas atómicas lanzadas por Estados Unidos sobre Hiroshima y Nagasaki, dos ciudades japonesas que fueron víctimas de la energía liberada al romperse aquellos átomos de uranio extraído del Congo.

El término de la Segunda Guerra Mundial significó también el fin del ideal de autarquía y los gobiernos entendieron que era delirante pretender reunir todos los recursos metálicos y energéticos en una sola nación. Desde ese momento —y hasta antes del silencioso inicio de la Guerra Fría— los países se dedicaron a guardar de manera constante metales críticos para uso doméstico y a consolidar una red de importaciones y exportaciones de materia prima que, incluso, incluyó a los países del Eje. Gobiernos de todos los continentes concordaron en que no era buena idea volver a limitar ni bloquear la industrialización de grandes países como castigo por haber perdido la guerra, porque nadie quería sufrir ataques de otra Alemania herida y humillada.

El uranio no se convirtió en el nuevo metal crítico por el que todos querían pelear debido a que no escasea en la corteza terrestre y suele estar muy repartido entre distintos países, pero lo que sí se convirtió en motivo de discusión y tensión global —hasta hoy— fue el dominio de la tecnología capaz de crear bombas atómicas. Hasta hoy, no son tantos los países que manejan la tecnología para la creación de armamento atómico, y constantemente se trata de controlar que ese número no crezca. La guerra de Irak que ocurrió en los 2000 partió bajo la premisa de que el gobierno de Sadam Hussein tenía armamento atómico, y fue bajo esta razón que el país fue invadido bajo el liderazgo de Estados Unidos. Esta premisa es muy cuestionada considerando que nunca se encontró armamento atómico en Irak y, a la vez, existe un consenso de que la invasión puede haber estado más bien motivada por la existencia de grandes reservas de petróleo.

Uno de los puntos positivos después de la Segunda Guerra fue que se inició el fin del colonialismo europeo. El continente no tuvo fuerzas para retener a sus colonias y evitar su independencia, en especial a las africanas. Sin embargo, con el alto ritmo de exportaciones de materia prima durante una guerra que ni siquiera les interesaba, al momento de liberarse de los colonizadores estas

naciones estaban en extremo debilitadas. Mandaron a volar al viejo continente y países como Francia, Bélgica, Países Bajos o Reino Unido se encontraron, para la década del sesenta, en la misma posición que Alemania en 1930: empezaron a depender de las importaciones de materia prima. Cortar los suministros en la actualidad no solo sería crucial e importante para pelear una guerra, sino que perturbaría en profundidad nuestro diario vivir porque dependemos muchísimo más del uso de metales que hace setenta años.

La Guerra Fría, protagonizada por Estados Unidos versus la Unión Soviética, se caracterizó por una tensión permanente entre ambas naciones y la amenaza constante de un segundo uso de la catastrófica bomba nuclear. El petróleo pasó a ser el recurso natural energético protagónico, que todavía mueve guerras y conquistas. Existe una industria armamentista gigante que se enriquece a costa de los conflictos bélicos del globo y que se alimenta de metales como el molibdeno, aleaciones de titanio, el renio, el magnesio, el tungsteno y el uranio.

La tecnología del armamento siempre ha sido clave, y hoy vemos cambios como batallas entre drones en lugar de aviones pilotados por humanos, siempre con la amenaza de que alguna nación vaya un paso más allá y tome la estúpida decisión de lanzar otra bomba que abra la puerta a una guerra atómica que terminaría con la humanidad. Los metales han jugado un rol hermoso en nuestro desarrollo como sociedad, pero también han alimentado conflictos y pugnas de poder que, al final del día, solo representan las ambiciones de unos pocos a costa de todos los demás.

Los modelos geológicos, el método de flotación y la revolución de los sulfuros

Durante el siglo XX, el mundo se sumió en la locura de buscar y fabricar metales, pero dado que los metales no se distribuyen de manera homogénea sobre la corteza terrestre y extraerlos de los

minerales es una labor demorosa y costosa, había varias aristas que atender antes de lograr suplir la creciente demanda.

Por eso podemos afirmar que las misiones de este siglo se resumen en crear técnicas de extracción más eficientes (donde entra en juego la geometalurgia) y aprender a explorar mejor. Ambas se cumplieron con éxito, la primera en parte gracias a la teoría tectónica de placas y la segunda por conseguir industrializar y afinar el método de flotación, un proceso geometalúrgico clave para separar de forma rápida los sulfuros de aquel los minerales sin valor económico (ganga).

La teoría de la tectónica de placas amplificó exponencialmente nuestro entendimiento de la Tierra en muchos niveles. A los pocos años de descubrir que el fondo oceánico crece, distintos geólogos descifraron el otro lado de la cinta transportadora donde ocurre la subducción y su comprensión sobre cómo funciona el motor interno del planeta permitió entender también el motor que genera los depósitos metálicos, en especial aquellos de origen magmático y magmático hidrotermal. Lo relevante de saber qué controla o gatilla la formación de depósitos es que el conocimiento de inmediato se traduce en una hoja de ruta para explorar y encontrar otros. Un buen ejemplo son los depósitos tipo pórfidos de cobre porque —además de ser replicable con diversos metales— llega directo al corazón de la chilenidad.

Pocos años después del descubrimiento de la tectónica de placas, Richard Sillitoe, famoso geólogo económico inglés, publicó un paper científico relacionando la subducción con la formación de pórfidos cupríferos, el tipo de depósito de cobre más importante a nivel global. Revolucionando los conocimientos de la época, afirmó que la formación de magmas relacionados con este tipo de depósito se debía a la fusión parcial de las rocas de la corteza oceánica que subductan bajo la corteza continental. Varios años han pasado desde la publicación de esta primera gran observación que relacionaba directamente la formación de depósitos de cobre con

la tectónica y las propuestas no han cambiado mucho. El entendimiento de los controles tectónicos sobre la formación de estos gigantes de cobre era la continuación de una primera publicación hecha por los geólogos estadounidenses David Lowell y John Gilbert, que en 1970 publicaron el primer modelo de formación de depósitos tipo pórfido —conocido como el modelo de la muela—, que mostraba qué minerales ocurren junto y alrededor de una zona enriquecida de cobre. Una tercera y última publicación fue un paper publicado por los geólogos Lewis Gustafson y John Hunt sobre la evolución del pórfido El Salvador, en Chile, caracterizando sus estilos de vetas y la evolución de la mineralización. Esta tríada de nuevos conocimientos impulsó durante las décadas siguientes una seguidilla de descubrimientos de depósitos tipo pórfido en los Andes, Norteamérica y el Sudeste Asiático.

David Lowell, fallecido en 2020, se desempeñó como consultor y hoy es considerado el mejor explorador de depósitos de la historia, una leyenda en la geología. Fue parte de los equipos de geólogos que descubrieron La Escondida y Zaldívar (Chile); Mirador (Ecuador); Los Calatos, Pierina y Toromocho (Perú); Kalamazoo, Vekol y Casa Grande (Estados Unidos) y Alto Paraná (Paraguay). Su *modus operandi* fue aplicar el modelo de formación de los pórfidos primero en el depósito Kalamazoo, en Arizona, y con esto en marcha testeó su exitosa hipótesis en otros depósitos norteamericanos. El año 1974 arribó a Chile en busca de nuevos depósitos y, en menos de diez años, logró dar con el gigantísimo pórfido de cobre La Escondida, el mayor descubrimiento de su carrera.

Como profesora, siempre muestro este caso en clases cuando hablo de la importancia de entender los modelos geológicos sobre la formación de depósitos. Y es que, a diferencia de los otros gigantes de cobre en Chile (Chuquicamata y El Teniente), La Escondida —tal como indica su nombre— estaba oculta bajo tierra, pero gracias al modelo mencionado se pudieron identificar

pequeñas pistas en la superficie que indicaban que podría haber un gran tesoro subterráneo de cobre.

Lowell entendió cómo eran los depósitos y Sillitoe cuáles eran los procesos geológicos esenciales para formarlos. Pero para comprender a cabalidad los pórfidos chilenos, Sillitoe sabía que era necesario vivir una inmersión total en la geología del país y eso fue lo que hizo, llegando incluso a trabajar en el Servicio Geológico de Chile durante varios años (su acento chileno lo delataba y era muy querido en nuestras tierras). Siempre fue un profesional de ideas rupturistas en cuanto a geología económica se trata, sobre todo en su propuesta de relacionar procesos de escala tectónica con la formación de depósitos. Junto con él, han actuado muchos otros geólogos y geólogas cuyo trabajo ha sido esencial para entender de mejor manera cómo procesos geológicos, incluidos algunos a escala cortical, son capaces de transportar metales acumulándolos y formando depósitos con una concentración económicamente importante.

Uno de los grandes avances que se hizo a finales del siglo XX sobre la formación de depósitos metálicos, fue la incorporación del concepto «sistema mineral» que apunta a que —en lugar de pensar un depósito de manera aislada— se conceptualicen bien los procesos relacionados a su formación, incluyendo en el análisis cómo diferentes condiciones fisicoquímicas (temperatura, pH, presión, hidratación) influyen en qué tipo de metales pueden ser transportados y depositados. Este cambio permitió observar que los grandes depósitos de oro tipo epitermal se relacionan en profundidad con los mismos procesos que forman los pórfidos de cobre: todos son parte de un mismo «sistema». El nuevo concepto aplicado al mundo de los pórfidos quedó muy bien explicado el año 2010 en una publicación hecha por el mismísimo Richard Sillitoe: un manuscrito que resume e integra el tema y que, hasta hoy, se considera una especie de Biblia para entender estos sistemas. La historia de los modelos geológicos aplicados a

la formación de depósitos metálicos es fascinante y no solo refiere a los pórfidos de cobre, sino que se repite para muchos otros.

Pero el lado práctico de la vida también importa. Y es que ¿de qué sirve encontrar un gigante con minerales si no se puede extraer de manera óptima y rápida el metal de interés que contiene? El boom de los pórfidos de cobre en Chile no fue casualidad. Lo impulsó un Estados Unidos que entraba a la Guerra Fría y estaba preocupado de tener control sobre la producción de cobre y el método de flotación. Esta técnica metalúrgica extractiva —que permite separar los minerales contenidos dentro de rocas— le otorgó un mayor valor a los depósitos hallados. El caso tipo sería separar un mineral valioso, como la galena, de otros minerales silicatados que lo acompañan y no tienen gran valor económico (la ganga). Al moler los minerales se obtiene un polvo que contiene partículas de galena y de ganga, por lo que se requiere una separación física entre uno y otro. Para conseguirla se puede aprovechar el hecho de que la superficie de las partículas de galena (y de otros minerales tipo sulfuro) es diferente a la de ganga; mientras la primera repele el agua y puede cubrirse con sustancias hidrofugantes (que evitan que el agua y la humedad penetren), a la segunda le sucede lo contrario. Por tanto, para separar uno de otro se debe mezclar el mineral molido con agua que contenga sustancias hidrofugantes (colectores), mantener agitada la dispersión sólido-líquido, e intensificar el proceso inyectando burbujas de gas al mineral molido, provocando que las partículas de galena se peguen a ellas hasta ser arrastradas de manera ascendente. Por su parte, las partículas de ganga permanecerán disueltas y las burbujas cargadas del sulfuro de interés terminarán formando una espuma que luego se recogerá en un vertedero.

Existe evidencia de esta técnica desde el siglo XV (se utilizaba para enriquecer minerales de carbonato de cobre), pero su uso masivo data de la segunda mitad del siglo XIX, cuando el aumento de la demanda de materias primas metálicas presionó

para que se buscaran métodos más óptimos para separar o hacer un concentrado de metales. La idea era enriquecer el material sacado antes de enviarlo a la fundición a ser procesado, pero el problema era que, sin el paso de «concentrar» el metal de interés, los depósitos debían tener leyes bastante altas y extraer casi un cien por ciento del mineral. La gracia del paso intermedio de concentración era que se hacía económicamente viable la explotación de depósitos de leyes más bajas, ya que era muy conveniente contar con material para fundir. Como todo avance tecnológico que se precie, este no ocurrió de un día para otro ni estuvo exento de dramas y litigios legales.

En un principio, el hidrofugante de elección era el aceite y se ocupó para lo que se considera el primer intento exitoso de flotación de minerales sulfurados —aunque en lugar de burbujas se aglomeraron sulfuros hasta hacerlos flotar en la superficie—. Ocurrió en 1896 gracias a los hermanos galeses Frank y Stanley Elmore, que lo llevaron a cabo en la mina de cobre Llanelltyd ubicada al norte de Gales. Tras patentar su descubrimiento y convertirse en «dueños» de la idea la publicaron y empezaron a venderla. Con el tiempo fundaron su propia compañía para promover la técnica de flotación a nivel global, y en 1900 una empresa norteamericana adquirió los derechos para aplicarla, sin éxito, en el procesamiento de oro en el estado de Utah. El intento mermó la reputación de los Elmore y la flotación en Estados Unidos se fue a pique. En paralelo, al otro lado del globo, en el distrito de Broken Hill situado en Australia, una empresa llamada Minerals Separation estaba logrando enormes avances gracias al método de flotación, pero a punta de peleas legales con los hermanos Elmore que exigían un pago por usar su idea. Las mejoras en el proceso de flotación fueron de tal magnitud que superaron con creces el planteamiento inicial de los Elmore, haciendo que perdieran la batalla legal. El éxito rotundo en Broken Hill se verificó en 1902, cuando a profesionales de la zona se les

ocurrió meter gas dentro de la pulpa de minerales y sulfuros molidos, puesto que la combinación del hidrofugante con las burbujas condujo a la verdadera separación de sulfuros y ganga.

Estados Unidos, incrédulo y decepcionado del método de flotación a lo Elmore, comenzó a mirar con ojos largos todos los éxitos metalúrgicos que estaban ocurriendo en Broken Hill. Pero su suerte cambió cuando, en 1911, un ex empleado de Minerals Separation llegó a «compartir» la receta de la técnica de separación mineral y abrieron la primera gran planta de flotación de Norteamérica en Butte, un depósito tipo pórfido de cobre gigante ubicado en Montana. Por supuesto la empresa australiana entró en modo furia con la situación, ya que no solo estaban usando su tecnología sin pagarles, sino que además había abierto oficinas en San Francisco en miras de expandir sus servicios a Norteamérica. El conflicto devino en una tremenda batalla legal durante una década y llegó hasta la Corte Suprema. Terminó en 1922, cuando las empresas Utah Copper (que se convertiría en Kennecott), Nevada Consolidated, Chino Copper, Ray Con y otras pagaron una cantidad no menor de dinero a Minerals Separation para poder ocupar legalmente el método de flotación en sus operaciones.

Con los dramas superados, Estados Unidos se convirtió muy pronto en el productor número uno de cobre a nivel mundial, relegando a Chile al segundo lugar. A inicios del siglo XX, las minas de cobre de nuestro país todavía eran explotadas de manera casi artesanal y los dueños, en su mayoría chilenos, no tenían el capital para modernizar sus operaciones. Con este escenario fue inevitable que las empresas norteamericanas pusieran el ojo en el territorio. En 1906, el ingeniero estadounidense William Braden compró la mina El Teniente y, diez años más tarde, la empresa Anaconda Copper Company adquirió el gigante Chuquicamata. El rol que cumplió el método de flotación en este arribo de empresas fue esencial, ya que gracias a su desarrollo aumentó el valor y la factibilidad de explotación de los depósitos de cobre del

país. El mismo año de la llegada de Anaconda, Kennecott compró El Teniente e instaló la primera planta de flotación su éxito fue emulado al poco tiempo en Chuquicamata y las demás minas de cobre del país, todas manejadas por empresas estadounidenses.

La técnica se replicó a escala global y el método de flotación continúa siendo el proceso más usado para separar con eficacia sulfuros de ganga (aunque se ha ido perfeccionando y dista bastante de la idea inicial de usar solo aceite como hidrofugante). Lo esencial para poder desarrollarlo fue entender las características físicas que diferencian a los sulfuros de otros minerales: un hermoso ejemplo de la ciencia aplicada al desarrollo tecnológico.

La técnica caló profundo en la sociedad y convirtió a los sulfuros en los protagonistas metálicos del siglo XX.

Siglo XX

Con todos los cambios tecnológicos, políticos y sociales que ocurrieron durante este siglo, es de esperarse que la forma de extraer metales también haya sufrido modificaciones sustanciales. La primera mitad se resume en guerras mundiales, una necesidad altísima de metales para fines bélicos y grandes avances en mecanización favorecidos por el descubrimiento de la electricidad. Previo a esto las minas incluso funcionaban sin camiones, pero la actividad industrial siempre ha sido un motor para el progreso en materia de transportes y este período no fue la excepción (¿un buen ejemplo?: la primera locomotora de Chile se instaló entre Caldera y Copiapó para el transporte del mineral con plata de la histórica mina Chañarcillo).

Imagínense lo que debe haber sido para los mineros vivir los cambios en tecnología que ocurrieron durante el siglo XX: pasar de trabajar sin electricidad ni transporte a contar con luminaria en los túneles, camiones de carga, buldóceres. Se facilitó la vida y aumentó la seguridad; no más lámparas a gas ni extracción a

punta de pala. Pero la cosa no mejoró de un día para otro ni llegó a todos por igual. Como era de esperar, la industrialización y maquinización se instaló primero en la gran minería manejada por empresas con capital que podían invertir en más y mejor tecnología, y a menor escala aún vemos mineras que trabajan a pulso. Hace poco circuló en Twitter un video de una mina de cobalto en el Congo que mostraba una ladera que se estaba viniendo abajo y, desde un pequeño túnel, decenas de mineros escapando expuestos a un peligro tremendo. Un recordatorio de que no toda la minería es minería industrial y todavía existe la artesanal, donde el gran contra es la seguridad. Durante el siglo XIX, la imagen de ese video representaba la realidad mundial, y aunque había cambiado bastante desde los túneles de los romanos donde solo se desempeñaban esclavos en condiciones deplorables, temas como la exposición y falta de protección seguían sin ser tomados en serio por los empleadores. De manera similar a cómo se dio en la industria textil durante la Revolución industrial, a fines de este siglo y principios del XX se crearon sindicatos de mineros que protestaron por mejores condiciones laborales y conceptos que hoy nos parecen vitales comenzaron a instalarse.

La minería fue de las primeras industrias en beneficiarse con el uso masivo de la electricidad, que le dio poder y mayor funcionalidad a tranvías y trenes y permitió instalar sistemas de cintas transportadoras dentro de las minas para mover el material extraído, reemplazando así el uso de animales y carretas por vehículos a petróleo. Los inmensos avances tecnológicos de este período propiciaron una mayor producción y modificaron las labores de los mineros, que ahora debían aprender a manejar camiones o maquinaria de extracción. Una modernización que, sin duda, fue consecuencia de la exigente demanda de metal desatada por las guerras.

Con la llegada del progreso al subsuelo también cambió el estilo de vida del minero. Como muchas de las operaciones están

alejadas de las ciudades y sus centros, la labor solía conllevar un asentamiento urbano que incluía espacio y vivienda para los trabajadores, que variaba según la labor que les tocaba llevar a cabo. En general, el espacio contaba con servicios básicos como hospitales, colegios y mercados y en algunos casos incluso con lugares de esparcimiento como cines o centros deportivos, llegando a formar un pueblo que giraba en torno a la actividad minera. En Chile se crearon diversos asentamientos asociados a la extracción de salitre, que para 1930 fueron abandonados debido a la fabricación de salitre sintético y se convirtieron en verdaderos pueblos fantasmas.

La creación de estos pueblos mineros no fue un fenómeno único de Chile o Sudamérica, sino llevaba años desarrollándose en Europa y Estados Unidos como respuesta a un emergente sistema que buscaba concentrar y maximizar el capital, el trabajo, el alojamiento y el equipamiento en pos de una mayor producción y ganancia. A lo largo de la historia se han creado cientos de asentamientos humanos alrededor de minas o industrias, pero la particularidad de estos asentamientos era que incluían servicios diversos y tanto estos como las casas eran financiados por la empresa, que requería un enorme capital para hacerlos realidad (por eso no se veían en sitios con minería artesanal o de menor escala, donde lo habitual era viajar a la mina e instalarse ahí por largos períodos de tiempo, en pequeños campamentos aislados, hasta reunir una buena cantidad de material que luego era puesto en venta).

Chile tiene tan buenos ejemplos que no me quiero mover de ahí: El Teniente, Chuquicamata, El Salvador y Potrerillos —los gigantes pórfidos de cobre más antiguos del país— tenían asentamientos asociados. Algunos como El Salvador aún sobreviven, otros —Sewell, asociado a El Teniente— han sido declarados patrimonio turístico de libre acceso al público y ciertos asentamientos como el de Chuquicamata fueron abandonados por la expansión de la mina. De la mano de William Braden (de ahí

la célebre brecha Braden, aquella unidad geológica que refiere a una estructura explosiva que cortaba la mineralización principal del depósito), El Teniente fue la primera operación de gran minería que se puso en marcha en el país.

Actualmente, la mina no se encuentra aislada en medio de la cordillera sino al contrario; se sitúa a poco menos de noventa minutos de Rancagua y la mayoría de sus trabajadores viven en la ciudad. Pero cien años atrás la cosa era bien diferente, los mineros estaban expuestos a quedar aislados a causa de grandes nevazones y no contaban con maquinaria para limpiar los caminos. Por eso lo más práctico era construir un campamento en los alrededores, que con el tiempo se convirtió en la mini ciudad bautizada como Sewell. La planificación arquitectónica del lugar no fue al azar, siguió la dramática topografía de la ladera cordillerana y se concibió desde una perspectiva paternalista que jerarquizaba las viviendas según el tipo de trabajo desarrollado en la operación. El modelo fue replicado en múltiples asentamientos mineros de principios del siglo XX.

Sewell no tenía caminos internos para autos, se resumía a escaleras con una avenida principal que conectaba con la estación de trenes, que a su vez conectaba con Rancagua. A lo largo de esta avenida se agrupaban los principales edificios de servicios como el juzgado, correos, el telégrafo y el hospital, y hacia la ladera norte se situaba El Teniente Club, un espacio donde solo se reunían los norteamericanos que manejaban la mina. La mini ciudad se dividía en tres clases sociales: los gringos que ocupaban todos los puestos profesionales, los empleados nacionales y los obreros; y sus diferencias abarcaban desde las viviendas hasta las fiestas que celebraban. La clase acomodada norteamericana llevaba un estilo de vida que emulaba bastante el que tenía en Estados Unidos, llegando a construir canchas de bowling y a practicar otras actividades que no eran muy propias de nuestro folclore nacional. Sewell llegó a tener quince mil habitantes

y recién en los años sesenta las mineras empezaron a contratar profesionales chilenos, terminando con su política de tener solo profesionales estadounidenses. Al buscar información sobre cómo era la vida en Sewell noté que, a pesar de la segregación y los crudos inviernos que enfrentaban quienes pertenecían al «estrato social» más bajo, la gente recuerda con cariño su tiempo ahí y destaca el fuerte sentido de comunidad que imperaba.

Para la década de los setenta todos los trabajadores de El Teniente se habían relocalizado en la ciudad de Rancagua —que ya tenía una forma similar a la que conocemos hoy— y la dinámica cambió radicalmente con la nacionalización del cobre. Los famosos gringos se fueron (los fueron) y se abrió la puerta para que profesionales chilenos participaran de manera masiva en la gran minería. A pesar de la partida, algunas tradiciones estadounidenses permanecieron en quienes siguieron habitando lugares como El Salvador o Chuquicamata. Una de mis amigas más queridas es nacida y criada en Chuquicamata y siempre nos habla de su infancia y adolescencia yendo al club social Chilex, nombre que viene de la primera compañía gringa que manejó el lugar: Chile Exploration Company. Ahí se juntaba con sus amigas del colegio después de clases o los fines de semana, lo que a una le suena un poco exótico, pero entretenido. Hace unos días le volví a preguntar por el club y me respondió «Ay, Chilex... lo mejor del mundo».

Actualmente son muy pocos los asentamientos activos tipo Sewell o Chuquicamata, ya que gracias a la facilidad con que los trabajadores pueden transportarse —vía terrestre o aérea— lo que prima son modalidades en las que viajan a la operación minera, se quedan en el campamento cumpliendo turnos de doce horas diarias y luego descansan varios días de corrido. En inglés, estos campamentos se conocen como FIFO (Fly-In Fly-Out) o DIDO (Drive-In Drive-Out) y distan bastante de los antiguos asentamientos. Por ejemplo, el campamento San Lorenzo de La Escondida está pensado para alojar solo a sus trabajadores, nunca a sus familias,

y se ubica a menos de cinco kilómetros de las operaciones de la mina. Se construyó pensando en la existencia de dos grupos de trabajadores que cumplieran turnos 4X4 de día o de noche, para que la mina estuviese operando 24/7. Con este sistema los espacios comunes son bastante limitados, pero las instalaciones cuentan con su buena cancha de fútbol, un gimnasio, una capilla y un bar sin alcohol (siempre ley seca). La mayoría de los campamentos mineros modernos siguen esta dinámica a mayor o menor escala, según cuál sea el tamaño de la mina y de la operación, y aunque es cierto que les da más opciones a las familias de los trabajadores (debe haber sido difícil ser esposa de un minero y encontrar trabajo en algo no relacionado a la mina), me da la impresión de que existe cierta nostalgia del sentido de comunidad que tenían las ciudades o asentamientos de la primera mitad del siglo XX.

La nacionalización de la minería

Las décadas que siguieron el fin de la Segunda Guerra mundial vieron a varios países que optaron por nacionalizar sus recursos metálicos en pos de su propio desarrollo. De estos tiempos, hay ejemplos exitosos y otros no tanto, y el panorama actual muestra que son las empresas privadas las que encabezan el negocio, aunque con un mayor control gubernamental —siempre perfectible— de la explotación y las ganancias que dejan para el país en que están emplazadas.

El fenómeno global de la nacionalización se dio en aquellos territorios donde primaba la minería operada por empresas extranjeras. Una primera mirada asocia esta transición al crecimiento del comunismo durante la primera mitad del siglo XX en Latinoamérica y la instalación del debate sobre cómo una producción minera manejada por el Estado favorecía el enriquecimiento de la nación. Pero lo cierto es que no solo ocurrió en nuestra parte del continente, ya que la independencia de las colonias

post segunda guerra estuvo marcada por definir una república libre que tuviese control sobre sus recursos naturales y riqueza. Un gran ejemplo de esto fue Indonesia, que en 1945 nacionalizó su minería de estaño, carbón y otros metales, antes manejada por empresas alemanas. El giro hacia una minería estatal también se dio en Polonia y algunos países de Europa central a fines de la Segunda Guerra Mundial como respuesta a Alemania. Luego fue el turno de China en 1949, Bolivia en 1952 y, entre 1965 y 1975, se unieron Perú, Chile y Zambia.

Las principales razones de la nacionalización fueron el desarrollo económico, la promoción de derechos laborales y una serie de lineamientos políticos. A través de esta se esperaba conseguir ganancias para el Estado que pudiesen ser reinvertidas en programas sociales o de infraestructura, beneficiando de manera directa al país. Luego de la locura metálica de la Segunda Guerra, la percepción que permeó el ambiente fue que la industria minera era demasiado importante para una nación en vías de desarrollo como para dejarla en manos de capitales extranjeros. El nacionalismo promovía la idea de que todo país debía poder manejar y ser dueño de sus recursos naturales, en lugar de sufrir la explotación de otro. Una minería estatal implicaba un Estado con mayor riqueza, donde los metales formaban parte de su patrimonio. En relación a las condiciones y derechos laborales de los trabajadores, se afirmaba que era más sencillo regular y tener estándares básicos de seguridad cuando el Estado manejaba todas las operaciones, en lugar de vigilar empresa por empresa que se respetaran. El último gran factor a considerar es el boom que tuvieron las corrientes políticas de izquierda durante el período, que veían la nacionalización como una forma de proteger y promover el poder estatal por sobre el privado, que también implicaba resguardar la soberanía de la nación.

Cada territorio que vivió el proceso tuvo una historia diferente, en algunos casos no duró mucho y en otros se considera

que fue bastante exitoso. En Chile la nacionalización de la minería no sucedió de un día para otro, sino que se fue construyendo por décadas y agarró vuelo con la creciente tensión que se instaló entre las empresas extranjeras y la población local. El primer gran problema fue que durante la Segunda Guerra Mundial Estados Unidos fijó el precio de compra del cobre proveniente de Chile, generando una baja significativa en las ganancias del país. El segundo: que las empresas que manejaban las operaciones de las grandes minas de cobre decidieron no contratar profesionales chilenos e importar su fuerza laboral, cerrándoles la puerta a ingenieros y geólogos formados en nuestro país. (Cuando hablé de esto con mis padres, me comentaron que cuando ellos eran chicos los empleados norteamericanos de la Anaconda Copper Company —dueña de Chuquicamata, El Salvador y Potrerillos— y de Kenecott —dueña de El Teniente— eran una especie de realeza dentro de la sociedad chilena, lo que a la larga solo tensionaba las relaciones.)

El cobre y su valor crecieron tanto que se convirtió en la fuente principal del producto interno bruto del país, y era muy difícil seguir sosteniendo que su destino fuera discutido entre cuatro paredes por un directorio de empresas extranjeras, sin ninguna participación del Estado chileno. Su control se entendió como una especie de colonización moderna que devino en un escenario propicio para impulsar con fuerza la chilenización del cobre (el Estado controlaba un 51 por ciento de las minas), que en los setenta culminó con su nacionalización. Hoy el panorama es distinto. Existe una importante minería estatal, pero también una privada. ¿El motivo? Durante la dictadura militar muchos proyectos de gran potencial, que eran propiedad de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), fueron vendidos a privados y a un valor mucho menor. Las transacciones incluyeron Los Bronces, El Soldado, El Indio, Punta del Cobre, Manto Verde, Andacollo, Sierra Gorda y Pelambres; proyectos que se

convirtieron en lucrativas operaciones para sus dueños (Los Bronces y Pelambres son considerados parte de los depósitos más grandes del planeta).

Las operaciones que pasaron a formar parte de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) —como Chuquicamata, El Teniente o El Salvador— no se privatizaron, principalmente, porque un porcentaje de sus ganancias iban directo a las arcas de la armada chilena. CODELCO sigue siendo estatal y cada cierto tiempo algunos sectores reabren el debate sobre si se debiese privatizar o no. En mi opinión no cabe ninguna duda de que los ingresos que ha producido la minería del cobre han sido de suma relevancia para su desarrollo pasado y presente y lo seguirán siendo en el futuro, pero es inevitable que la discusión siga, más ahora que estamos viviendo el auge del litio.

El crecimiento exponencial de la minería y el uso de metales no salió gratis, menos si consideramos el gran elefante blanco en la habitación: el cambio climático, cuyos orígenes se remontan a siglos de extracción y producción.

¿Cuál ha sido el comportamiento de la industria minera para con el medioambiente?

Todos los grandes avances metalúrgicos del siglo XX se desarrollaron gracias a procesos altamente contaminantes, bajo el alero de una sociedad que no era consciente ni tenía el conocimiento necesario para comprender el impacto medioambiental que podían generar sus actividades. Es cierto que ahora miramos con sorpresa y espanto ciertas prácticas extractivistas del pasado que provocan un enorme daño al entorno y cuestionamos de manera más tajante la obtención de ganancia a cualquier precio, pero, aunque muchas mineras o fundiciones han debido reinventarse para funcionar de una forma que sea responsable con nuestro planeta, aún existen cientos de ejemplos que dejan bastante que desear.

Antes los principales impactos medioambientales se debían a la descarga de material o sustancias contaminadas con alto contenido de metales en aguas aledañas y a los efectos colaterales de la fundición; ruido, vibración y polvo que afectaba a las comunidades cercanas a la operación minera. Y es que las fundiciones conllevan una serie de procesos muy pesados para la atmósfera, partiendo con su uso de carbón como fuente de calor y emisor a tiempo completo de cantidades considerables de dióxido de sulfuro, fluoruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno y humo, y su constante producción de escoria. El nivel de contaminación que se genera con la minería depende de muchos factores, entre los que destacan el material que está siendo extraído y el tipo de minería que se está llevando a cabo (por ejemplo, el impacto de la minería a cielo abierto es diferente al de la minería subterránea).

La atención que el mundo prestó al impacto medioambiental de la minería no nació de la nada ni por pura buena onda: una seguidilla de desastres influyó en lo de empezar a tomar en serio el tema. Es lamentable la cantidad de desastres mineros que podemos nombrar. Si miramos a nuestros vecinos veremos que Brasil ha sido el más afectado durante la última década y uno de los ejemplos recientes es la rotura de un tranque de relave en 2015, en el distrito de Minas Gerais, que tras liberar más de cuarenta y cinco millones de metro cúbicos de barro infestado de metales causó uno de los desastres más espantosos en la historia del país. La rotura provocó una ola de devastación sobre todos los ríos del sector y las aguas contaminadas cubrieron cerca de seiscientos cincuenta kilómetros a la redonda. Diecinueve personas murieron y miles de árboles, animales, microorganismos, plantaciones, casas, estructuras urbanas y la localidad completa de Mariana fueron destruidos. Los responsables del desastre, la gigante empresa Vale de Brasil y BHP de Australia, tuvieron que pagar más de siete billones de dólares

en multas y se ganaron el odio popular de Brasil. Como si no hubiese sido suficiente, en 2019 tuvo lugar el desastre de Brumadinho, de nuevo en Minas Gerais y con la minera Vale involucrada. Se rompió el tranque de relave soltando doce millones de metros cúbicos de barro, pero esta vez avanzó directo sobre las oficinas de la mina (incluyendo la cafetería en la que varios mineros estaban almorzando) y arrasó con casas y granjas. El suceso mató a más de doscientas setenta personas y hubo once que nunca fueron encontradas. Si bien los daños ambientales se repitieron, la sanción fue distinta: el mundo castigó a Vale con el desplome de un 24 por ciento de sus acciones —una pérdida de diecinueve millones de dólares— y la empresa tuvo que pagar billones de dólares en compensación a las familias de los trabajadores que perdieron la vida en el accidente.

Pero Brasil no ha sido el único afectado por malas prácticas mineras. En 2014, con algo menos de fatalidades, se rompió un tranque de relave de la mina Mount Polley ubicada en British Columbia, Canadá, que causó otro gran desastre medioambiental. En el caso de Chile, quizás el evento más polémico de los últimos años es el proyecto minero en el depósito de oro Pascua Lama, manejado por la minera canadiense Barrick Gold, que fue cancelado luego de años de protestas en las que se acusaba a la empresa de destruir los glaciares aledaños. Fue la foto de un bulldócer destruyendo un glaciar de la zona lo que terminó de lapidarlo. La sociedad no es indiferente a las malas prácticas.

Como reacción a los daños causados por estos desastres, la mayoría de los países se ha puesto más exigente en materia de regulación medioambiental cuando de una actividad extractiva se trata, por lo que es usual que hoy exijan a las empresas entregar un informe de impacto ambiental —que incluye aspectos físicos del medio y de la flora y fauna potencialmente afectada— antes de poder invertir en el país. También es interesante ver cómo la economía castiga a aquellas empresas que han tenido un actuar

irresponsable. Aunque aún existen operaciones mineras contaminantes (como el mítico Norilsk en Rusia) y lugares que son utilizados como verdaderas zonas de sacrificio que deben dar un giro radical o desaparecer, no todo es retroceso y países como Canadá han demostrado que es posible construir fundiciones modernas que no sean núcleos de contaminación (invirtiendo millones de dólares, claro).

Es un poco abrumador describir todos los cambios que vivió nuestra sociedad durante el siglo XX, se siente como si hubiera habido un auto manejando a velocidad normal por la carretera que de repente aceleró y alcanzó los doscientos kilómetros por hora. Mucha rapidez, mucha intensidad, y creo que nos ha costado digerir este nuevo mundo y definir qué se necesita para que siga andando. Y es importante conocer los productos consumimos y saber qué contienen, ser conscientes de dónde viene la materia prima que sostiene al mundo moderno, en especial la metálica (¿cuánta historia tuvo que pasar para que lleguemos al punto donde estamos hoy?). El siglo XX fue una montaña rusa de avances, locuras y emociones, y el siglo XXI anda por ahí o peor, lo que nos hace preguntarnos ¿cómo lo hacemos para seguir adelante sin inmolarnos en el camino?