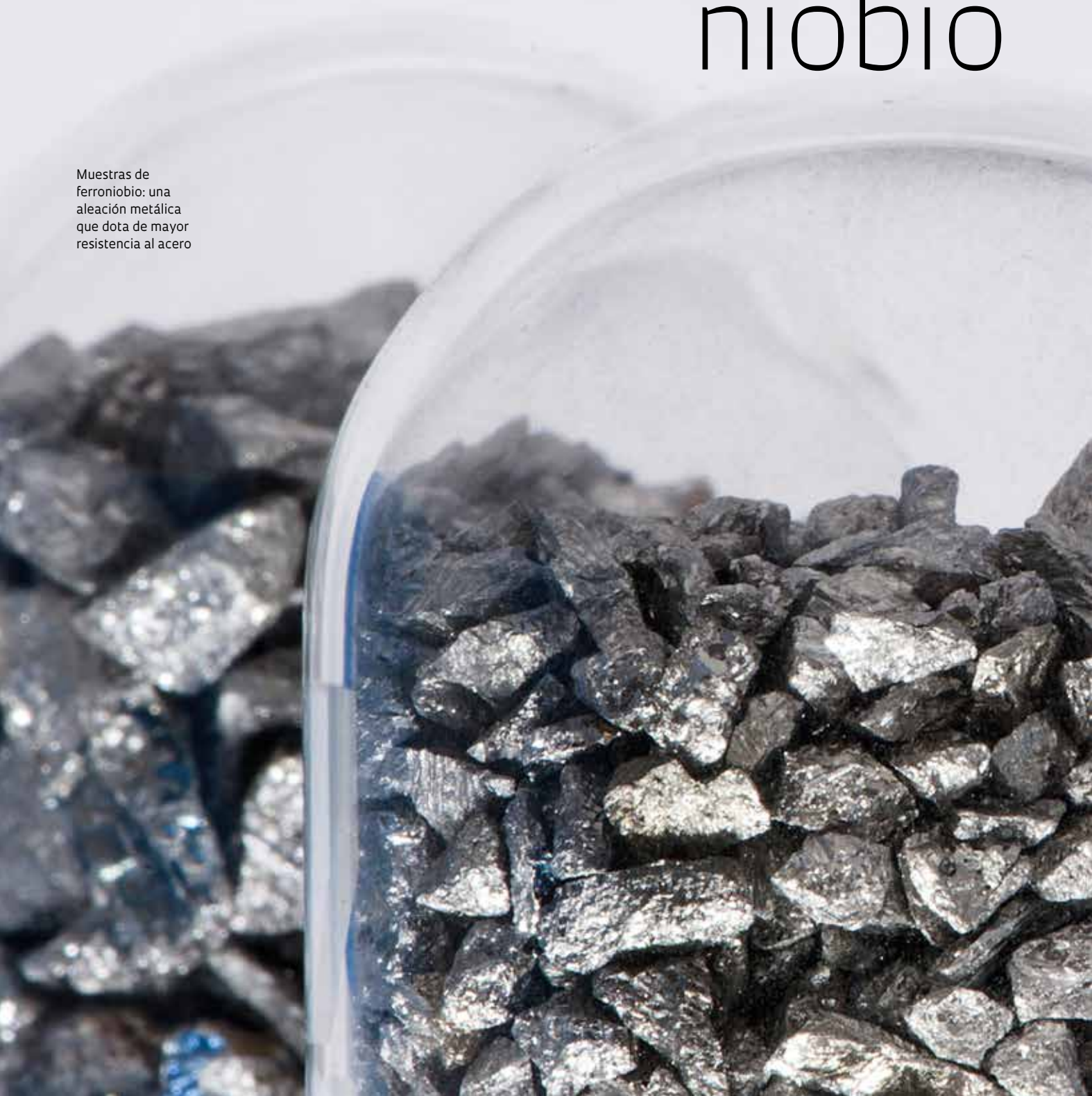



El polémico niobio

Muestras de
ferroniobio: una
aleación metálica
que dota de mayor
resistencia al acero





Los mitos y los malentendidos que rodean a este metal, del cual Brasil es lejos el mayor productor global

Yuri Vasconcelos y

Léo Ramos Chaves (fotos), desde Araxá (Minas Gerais)

PUBLICADO EN MARZO DE 2019

El niobio es un metal maleable, brillante y versátil que hasta hace muy poco tiempo era desconocido para la mayoría de los brasileños, pero que fue ganando espacio en las noticias y motivó discusiones durante la última campaña electoral. Mensajes difundidos por las redes sociales advertían que las reservas brasileñas de ese mineral, las mayores del planeta, estarían siendo dilapidadas a través del contrabando o de su venta a precios irrisorios en el mercado internacional. El entonces diputado federal y actual presidente Jair Bolsonaro, un entusiasta de la multifuncionalidad de este metal, participó en ese debate. En un video de 20 minutos de duración, enalteció las virtudes del niobio, que se usa como elemento de aleación en aceros y en aplicaciones de alta tecnología tales como las baterías de los coches eléctricos, en lentes ópticas, en aceleradores de partículas, en implantes ortopédicos y en turbinas aeronáuticas.

Esa grabación se concretó en 2016, en el mayor yacimiento activo de niobio del planeta, ubicado en los alrededores de la ciudad de Araxá, a 360 kilómetros de Belo Horizonte (Minas Gerais). La mina se inauguró en 1955 y es explotada por la Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), una empresa controlada por la familia Moreira Salles, una de las accionistas de Itaú Unibanco. En 2011, la minera le vendió el 15% del negocio a un grupo de fabricantes de aceros chino y otro 15% a un consorcio nipo-surcoreano, que también realiza actividades en el sector siderúrgico.

Brasil posee alrededor del 98% de los depósitos de niobio en operación en todo el mundo, seguido por Canadá y Australia. Un estudio llevado a cabo por el Departamento Nacional de Producción Mineral (DNPM), extinto al final del año 2018 para darle lugar a la Agencia Nacional de Minería (ANM), indica que las reservas brasileñas suman 842,4 millones de toneladas. En el yacimiento de Araxá se concentra el 75% del total, mientras que un 21% se encuentra en depósitos no comerciales en la Amazonia y el 4% restante en el municipio de Catalão (Goiás). Este último yacimiento es explotado por la compañía china CMOC International Brasil, subsidiaria de la minera China Molybdenum. En conjunto, ambas minas brasileñas proveen el 82% del niobio comercializado en todo el mundo, unas 120 mil toneladas (t) anuales, de las cuales CBMM produce 90 mil t y CMOC alrededor de 9 mil t.

“Nuestras reservas le confieren a Brasil un rol estratégico en la provisión de este producto al mercado mundial”, resalta el geólogo Marcelo Ribeiro



La etapa de metalurgia, la fase final de la producción del ferroniobio

muchos rumores referentes al niobio. “Si bien es un mineral que abunda en Brasil, no es raro en el resto del mundo. Existen alrededor de 85 depósitos conocidos, en su mayoría no explotados comercialmente”, explica, a la vez que niega que este producto se contrabandee desde Brasil. “CBMM creó el mercado del niobio a partir del hallazgo de la mina en Araxá. Anteriormente era poco lo que se sabía sobre este elemento y sus beneficios en los segmentos en los cuales se lo aplica”.

Stuart explica también que la multinacional no vende el mineral en bruto, sino tan solo productos elaborados a base del mismo. El más común es el ferroniobio (FeNb), una aleación metálica compuesta por un 65% de niobio y un 35% de hierro destinada al sector siderúrgico. “El mayor competidor del niobio lo conforman los aceros elaborados sin niobio”, dice Stuart. Otros metales, tales como el molibdeno y el vanadio, también se utilizan como aditivos en el acero, pero con resultados dispares.

LA RESISTENCIA DEL ACERO

El agregado de porcentajes mínimos de ferroniobio, del orden del 0,05%, torna al acero mecánicamente más resistente sin disminuir su tenacidad, que es la capacidad de deformarse plásticamente sin romperse. Estos aceros, a los cuales se

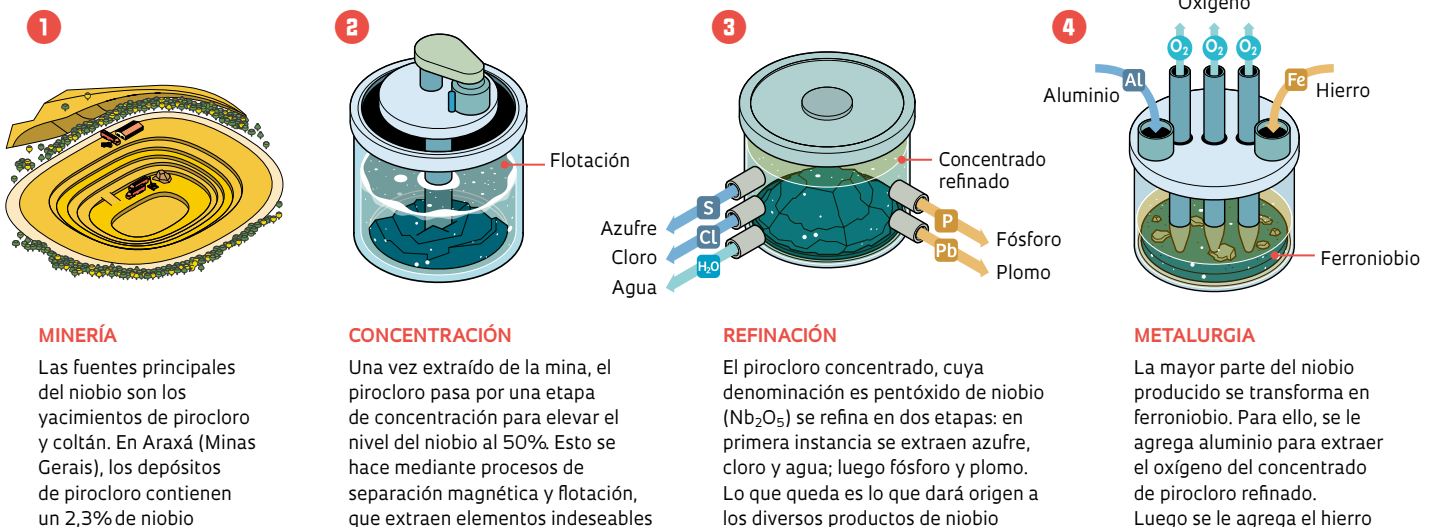
Tunes, director del Instituto Brasileño de Minería (Ibram), una entidad que actúa como portavoz del sector minero. “Las críticas que apuntan que nosotros vendemos esa riqueza a valores módicos es improcedente. El precio de los productos de niobio, cuyo valor se ubica entre 40 y 50 dólares el kilogramo, reacciona de acuerdo con el mercado. En caso de que el precio aumente en forma irracional y

especulativa, los clientes buscarán otras opciones”. A modo de comparación, la tonelada de mineral de hierro vale 90 dólares (es decir, 9 centavos de dólar el kilo) y 1 onza de oro (31,1 gramos) se negocia por 1.300 dólares, es decir que el kilo de este metal cuesta 41.800 dólares, alrededor de mil veces el valor del niobio.

Para Marcos Stuart, director de Tecnología de CBMM, en la sociedad circulan

De la mina al mercado

Conozca el proceso de explotación e industrialización del niobio y sus aplicaciones principales



los conoce con el nombre de microaleaciones, se utilizan en la fabricación de cañerías de petróleo y gas, automóviles, barcos, puentes y viaductos. Tan solo un 8% del acero que se produce en todo el mundo contiene niobio en su composición, lo que indica un amplio margen de crecimiento del mercado.

“Al ser más resistentes, las chapas de acero fabricadas con ferroniobio puede ser más delgadas que las convencionales. En la industria automotriz, las carrocerías de los autos quedan más frecuente sin perder resistencia. Esa reducción del peso mejora la eficiencia, tanto en los vehículos de combustión interna como en los eléctricos”, comenta Stuart. En el caso de los oleoductos y gasoductos, que son su aplicación más frecuente, el niobio evita la propagación de grietas y, al mismo tiempo, permite la construcción de estructuras más delgadas. “El espesor de las paredes puede reducirse a 20 milímetros (mm), la mitad de la medida de las tuberías fabricadas sin ferroniobio”, explica.

Alrededor del 90% del niobio producido se transforma en ferroniobio, y el 10% restante se distribuye entre distintos productos destinados a aplicaciones especiales. Los óxidos de niobio se emplean en la fabricación de lentes de cámaras fotográficas, baterías de vehículos eléc-



Lingotes de niobio metálico de la Escuela de Ingeniería de Lorena de la USP

tricos y lentes para telescopios. Las aleaciones de niobio de alto vacío, resistentes al calor y con alto nivel de pureza, constituyen la materia prima de las turbinas aeronáuticas, de los motores de cohetes y de las turbinas terrestres de generación eléctrica. En tanto, el niobio metálico, que se produce en forma de lingotes –cilindros macizos compuestos por un 99% de ese metal–, posee propiedades super-

conductoras y una elevada resistencia a la corrosión. Se destina a la producción de cables superconductores que equipan tomógrafos, aparatos de resonancia magnética y aceleradores de partículas.

CBMM es la única empresa en el mundo que provee todos los productos derivados del niobio. “Desde un comienzo invirtió fuertemente en el proceso de fabricación de ferroniobio y de otros productos elaborados con ese metal”, informa el ingeniero metalúrgico Fernando Gomes Landgraf, docente de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (Poli-USP). El proceso de explotación e industrialización del niobio en Araxá se realiza en 15 etapas. Todo comienza a partir de su extracción de la naturaleza. Las principales fuentes de niobio son los yacimientos de un mineral denominado pirocloro. La mina de CBMM contiene solamente un 2,3% de niobio, un porcentaje pequeño, aunque superior a la de la mayoría de las reservas de todo el mundo. La fracción restante está compuesta por mineral de hierro en diversas formas, óxido de bario y fosfato, aparte de otros elementos, entre los que se cuentan azufre y silicio, por ejemplo.

La minería a cielo abierto en Araxá no perfora túneles ni emplea explosivos: se realiza por excavación. El mineral extraído se transporta hasta la central de aprovechamiento, en donde se realiza un proceso de concentración para elevar el contenido de niobio al 50%, lo que se concreta extrayendo los elementos químicos indeseables presentes en

	FERRO-NIOBIO	Esta aleación la emplean las siderúrgicas para la producción de microaleaciones de aceros de alta resistencia	<ul style="list-style-type: none"> ● Carrocerías de automóviles ● Barcos ● Puentes ● Viaductos ● Oleoductos y gasoductos
	ÓXIDOS DE NIOBIO	Bajo la forma de un polvo blanco, se emplean en aplicaciones especiales de alto valor tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> ● Lentes de telescopios y cámaras fotográficas ● Baterías de coches eléctricos ● Catalizadores
	ALEACIONES DE ALTO VACÍO	Su mayor utilidad reside en la producción de superaleaciones de acero a base de níquel (Inconel) resistentes a altas temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> ● Motores de cohetes y aviones ● Turbinas terrestres de generación de energía eléctrica
	NIOBIO METÁLICO	Los lingotes con una concentración del 99% de niobio poseen propiedades superconductoras y una elevada resistencia a la corrosión	<ul style="list-style-type: none"> ● Aparatos de resonancia magnética ● Tomógrafos ● Aceleradores de partículas, tales como Sirius

FUENTE CBMM

El mineral en cifras

EL 98%

de las reservas de niobio que se procesan se encuentran en Brasil

La suma de todos los depósitos nacionales es de **842,4 MILLONES** de toneladas

EL 8%

del acero que se produce en el planeta contiene ferroniobio

CBMM podría atender la demanda mundial durante

200 AÑOS, considerando el mercado actual

La producción anual del metal en todo el mundo es de

120 MIL toneladas

Brasil domina el

82% del mercado global

ocupa el tercer lugar en exportaciones-, pero al mismo tiempo trae aparejadas desventajas. Según el físico Rogério Cezar Cerqueira Leite, profesor emérito de la Universidad de Campinas (Unicamp), el puesto destacado de Brasil en este sector constituye un obstáculo para el uso del metal a mayor escala. “Ningún país o empresa tolera una dependencia exagerada en relación con un único proveedor. Además, para cada aplicación del niobio existe un sucedáneo, incluso el propio niobio de otros países, que aunque proviene de minerales más recalcitrantes y, por lo tanto, de aprovechamiento más costoso, ya son operativos”, afirma.

Cerqueira Leite también hace hincapié en lo restringido del mercado de este metal como un obstáculo para el aumento de su consumo. “El niobio tiene innumerables aplicaciones, pero, desafortunadamente, para cualquiera de ellas la demanda es muy limitada”, dice el investigador, uno de los autores del libro intitulado *Niobio, uma conquista nacional* (editorial Duas Cidades, 1988). “En definitiva, no hay riqueza si no hay mercado. El niobio constituye quizá el ejemplo clásico de esta circunstancia. El oro tiene un valor muy alto porque hay demanda”.

INNOVACIÓN ABIERTA

Otro factor que inhibe la demanda internacional de niobio es el desinterés de otras naciones por invertir en investi-

el pirocloro. A continuación, el pirocloro concentrado –o pentóxido de niobio (Nb_2O_5)– se refina y se purifica, dando como resultado un compuesto que dará origen a los diversos subproductos del niobio (vea la infografía arriba).

Los residuos que se generan durante el procesamiento del mineral se almacenan en represas con el fondo revestido con un plástico de alta resistencia, lo cual reduce el riesgo de contaminación del suelo. Los embalses de desechos se construyeron según el método de aguas abajo, en el que el levantamiento del dique inicial se realiza en la dirección del flujo del agua.

Se trata de una técnica más segura que la del método de aguas arriba, en el cual los nuevos diques se construyen sobre los propios desechos. Las represas de las mineras Vale y Samarco, en los municipios de Brumadinho y Mariana (Minas Gerais), respectivamente, que sufrieron roturas, adoptaban esa última tecnología, actualmente prohibida en Brasil.

Si se considera el consumo actual, el yacimiento de Araxá podría atender la demanda mundial durante 200 años. El monopolio virtual brasileño de este metal se traduce en ventajas obvias –el mineral es una fuente importante de riqueza y



La mina de Araxá (Minas Gerais): la mayor en operación en el mundo

gaciones tendientes a descubrir nuevas aplicaciones para un activo cuya explotación se encuentra concentrada prácticamente en suelo brasileño. En un intento por sortear esta coyuntura, CBMM puso en marcha una política agresiva de investigación y desarrollo (I&D) basada en la innovación abierta. La empresa invierte 150 millones de reales por año en esta actividad, lo cual equivale al 3% de su facturación, que en 2017 fue de 4.800 millones de reales.

En los laboratorios del Centro de Tecnología de Araxá, en el cual trabajan 122 técnicos e investigadores, el enfoque del trabajo recae en la mejora de los procesos productivos y en el desarrollo de los productos de niobio. Con la ayuda de colaboradores externos, las investigaciones se centran en las nuevas aplicaciones de este metal. “La empresa invierte en la comunidad científica brasileña mediante proyectos en decenas de universidades y centros de investigación. En simultáneo, brinda ayuda a grupos del exterior con capacidad en temas de interés relacionados con el niobio”, informa Landgraf, de la Poli-USP.

En el ámbito internacional, la minera tiene entre sus colaboradores a las universidades de Tokio y Okayama, en Japón, Cambridge y Sheffield, en Inglaterra y Colorado School of Mines, en Estados Unidos, entre otros. En Brasil, la empresa financia estudios en la USP, en las universidades federales de Minas Gerais (UFMG), São Carlos (UFSCar), Viçosa (UFV) y Ouro Preto (Ufop), en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT, en portugués) de São Paulo, y en el Centro de Innovación y Tecnología del Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial (CIT-Senai), de Belo Horizonte.

También existen alianzas con usuarios finales de los productos. Una de las más recientes se firmó el año pasado con la empresa japonesa Toshiba. Su objetivo es aumentar la demanda de óxidos de niobio, que se utilizan para la fabricación de baterías de automóviles eléctricos. CBMM invertirá 7,2 millones de reales en la construcción de una planta piloto de baterías en Kashiwazaki, Japón, junto a la unidad local de Toshiba. En la misma se desarrollará una nueva generación de



Técnicos del laboratorio de control de calidad del Centro de Tecnología de CBMM

baterías con ánodos de óxidos mixtos de niobio y titanio. Según Stuart, la incorporación de niobio dota a las baterías de una mayor durabilidad, mayor seguridad y un menor tiempo de recarga.

En Brasil, entre los proyectos que ya se patrocinan, despunta el desarrollo de aceros para tuberías *onshore* (en tierra), en forma conjunta con Petrobras, y de aceros para ductos de petróleo y gas expuestos a ambientes más agresivos en cuanto a las condiciones de corrosión, junto con la USP. Uno de los trabajos en curso es el de un camión volcador que opera en Araxá. Su receptáculo se rediseñó, en colaboración con un fabricante nacional, e incorporó aceros con microaleaciones de niobio. Con eso se logró una reducción de 1,5 toneladas en su peso, lo que elevó la capacidad de transporte del mineral.

Otra cooperación, que involucra al IPT y a la Asociación de Asistencia al Niño Discapacitado (AACD, en portugués), de São Paulo, se enfoca en la creación de prótesis ortopédicas elaboradas con aleaciones de niobio-titanio y titanio-niobio-circón por manufactura aditiva (impresión 3D). Esas aleaciones son biocompatibles y se caracterizan por su elevada resistencia mecánica y su alta elasticidad. Los implantes ortopédicos muy rígidos pueden conducir a la pérdida del hueso implantado. El uso de aleaciones de niobio-titanio puede mitigar ese inconveniente. El proyecto, que arrancó en 2016 con una extensión prevista de 42 meses, dispone de recursos por 8,2 millones de

reales, financiados en forma conjunta por la gobernación paulista, CBMM, la estatal Empresa Brasileña de Investigación e Innovación Industrial (Embrapii) y la FAPESP, en el marco del Programa de Apoyo a la Investigación en Asociación para la Innovación Tecnológica (Pite).

EL PROYECTO NIOBIO

Un colaborador de larga data de CBMM es la Escuela de Ingeniería de Lorena (EEL) de la USP. Esta facultad fue la sede del Proyecto Niobio, una iniciativa pluriinstitucional creada en 1978 con la finalidad de desarrollar una ruta tecnológica para la producción de niobio metálico de alta pureza. El proyecto también incluía estudios orientados hacia las diversas fases del procesamiento y de las aplicaciones del metal y sus aleaciones, con énfasis especial en la superconductividad metálica.

“Fuimos el centro de investigación pionero del país en la producción de niobio de alta pureza a escala piloto”, recuerda el ingeniero químico Hugo Ricardo Zschommler Sandim, docente de la EEL-USP. “CBMM proveía el pentóxido de niobio y recibía luego lingotes de alta pureza.

El Proyecto Niobio le aportó valor agregado al metal y permitió la verticalización de su producción con el socio comercial del proyecto”. Ese acuerdo duró alrededor de 10 años hasta que la minera consideró que la tecnología ya estaba consolidada y decidió implementar la producción de niobio metálico en Araxá.

Los científicos de Lorena continúan realizando investigación básica y aplicada con base en el niobio. “Nuestro enfoque siempre estuvo en los materiales con alto contenido de niobio, tales como las superaleaciones a base de níquel y aleaciones para aplicaciones a altas temperaturas. Hemos provisto muestras de niobio metálico a más de 200 instituciones de investigación de Brasil y del exterior”, comenta el ingeniero metalúrgico Carlos Angelo Nunes, docente de la EEL-USP. “El niobio es un metal con propiedades excepcionales, aunque no corresponde a aquello que se divulga en forma equivocada en gran parte de los medios”. ■

Proyecto

Obtención de prótesis ortopédicas con aleaciones Nb-Ti y Ti-Nb-Zr mediante fusión selectiva por láser (nº 16/ 50199-6); **Modalidad** Cooperación para la Innovación Tecnológica (Pite); **Convenio** CBMM; **Investigador responsable** Fernando José Gomes Landgraf (IPT); **Inversión** R\$ 1.666.137,08.