



Reclasificación y actualización química de meteoritos de hierro del Museo de La Plata

María Eugenia Varela^{1,2}, Silvia Ametrano^{3,4}, Laura N. Garcia^{1,2,5} y Eduardo Jawerbaum⁶

¹ Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE-CONICET), Universidad Nacional de San Juan, J5402DSP San Juan.

² Instituto y Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de San Juan, J5400DNQ San Juan.

³ Museo de La Plata, Paseo Del Bosque s/n 1900 La Plata, Buenos Aires.

⁴ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 60 y 122, 1900 La Plata.

⁵ Instituto de Mecánica Aplicada (IMA), Universidad Nacional de San Juan, J5400ARL San Juan.

⁶ Colección Eduardo Jawerbaum, info@mineralesyfosiles.com.ar

Autora correspondiente: María Eugenia Varela: eugeniavarela@conicet.gov.ar

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 11/03/2025

Aceptado: 15/08/2025

RESUMEN

El Museo de La Plata conserva una importante colección de meteoritos que data del año 1884 y aloja 91 ejemplares provenientes de nuestro país y del exterior. Recientemente se han identificado ocho objetos en dicha colección que carecían de análisis químicos concluyentes. En esta primera etapa se presentan los resultados de estos análisis -realizados mediante activación neutrónica instrumental (INAA)- aplicados a ocho meteoritos de hierro, lo que permitió confirmar la clasificación de seis de ellos y reclasificar dos como pallasitas. El estudio permite subsanar errores históricos, como el caso de Otumpa, realizar la primera clasificación con base química de los meteoritos Dadin (IIIAB) y Huaytiquina (IIAB), y ampliar los datos químicos disponibles para meteoritos como Caperr, Ñorquin y El Sampil. La información obtenida será remitida al Comité de Nomenclatura de la Meteoritical Society. Este trabajo destaca la necesidad de aplicar nuevas metodologías para valorizar científicamente las colecciones nacionales y actualizar su clasificación con criterios modernos.

Palabras clave: Meteoritos argentinos, Meteoritos de hierro, INAA (Instrumental-Neutron-Activation-Analysis).

ABSTRACT

Reclassification and chemical revision of iron meteorites from the La Plata Museum

The La Plata Museum houses a significant meteorite collection established in 1884, comprising 91 specimens from Argentina and abroad. As part of the first stage of a broader reclassification project, eight iron meteorites from this collection—previously lacking conclusive chemical data—were analyzed using instrumental neutron activation analysis (INAA). The new results confirm the classification of six specimens and lead to the reclassification of two as pallasites. This study also corrects historical misidentifications, such as the Otumpa meteorite, provides the first chemical classifications for the Dadin (IIIAB) and Huaytiquina (IIAB) meteorites, and expands the chemical database for Caperr, Ñorquin, and El Sampil. The updated information will be submitted to the Nomenclature Committee of the Meteoritical Society. Overall, this work underscores the importance of applying modern analytical methods to reassess historical collections and update meteorite classifications according to current standards.

Keywords: Argentine meteorites; Iron meteorites; INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis).

INTRODUCCIÓN

La colección de meteoritos que posee el Museo de La Plata (MLP) cuenta actualmente con 91 objetos, provenientes de nuestro país y del exterior. Desde su fundación en 1884, esta colección ha ido creciendo paulatinamente como resultado de generosas donaciones individuales y de intercambios. El mayor de todos los meteoritos que posee el Museo de La Plata es el meteorito de hierro Caperr, de 114 kilogramos, incorporado en 1896 por Francisco P. Moreno (fundador del Museo).

Entre los objetos presentes en dicha colección, existe un total de 18 meteoritos de hierro (incluidas seis muestras correspondientes a Campo del Cielo), y 5 muestras de pallasitas. De este conjunto se seleccionaron ocho meteoritos considerados metálicos (Tabla 1) sobre los cuales existían dudas en su clasificación previa (p. ej., Otumpa) o no se encontraban clasificados acabadamente ya que algunos de estos especímenes fueron clasificados únicamente en razón de su metalografía (p. ej., Dadín) y/o con análisis químicos limitados en número o en cantidad de elementos debido a la falta de acceso a técnicas analíticas modernas. Para comprender el origen de estas limitaciones, a continuación, se brinda una breve introducción a los meteoritos de hierro y su clasificación:

Los meteoritos de hierro representan ~ 6 % de las caídas, consisten en un 90% de metal (Fe-Ni) y comúnmente contienen sulfuros como troilita (SFe), fosfuros ricos en níquel como schreibersita (Fe,Ni)₃P, carburos de hierro y níquel como la cohenita (Fe,Ni)₃C, grafito y algunos ejemplares como los de los grupos IAB y IIICD contienen inclusiones de silicatos. La composición química de estos agregados de silicatos es si-

milar a las condritas, pero su textura es de tipo granular y no presentan cóndrulas. Al igual que las condritas, estos agregados son muy antiguos y muy ricos en elementos volátiles y en gases atrapados de tipo solar. Un ejemplo de este tipo de meteorito de hierro con agregados de silicatos son los meteoritos de la lluvia de Campo del Cielo, perteneciente al grupo IAB (ver Discusión).

La clasificación de los meteoritos de hierros, quizás más que la de cualquier otro grupo de meteoritos, es muy antigua. Por ejemplo, la conocida estructura o patrón de Widmanstätten fue reconocida por primera vez a principios del siglo XIX por W. Thompson y A. von Widmanstätten. Posteriormente en las décadas de 1870 y 1880 Tschermak introdujo la clasificación estructural de los meteoritos de hierro que aún sigue siendo una herramienta útil para la caracterización de los mismos, como se describe a continuación. El enfoque clásico se basa en el examen microestructural mediante microscopía óptica de secciones pulidas y atacadas con ácido nítrico (Buchwald 1975). Mediante esta clasificación, los meteoritos metálicos son subdivididos de acuerdo a sus estructuras metálicas (Tabla 2). El tamaño y la forma de los cristales de kamacita (fase metálica Fe-Ni con bajo contenido de Ni), es el criterio decisivo. En las hexaedritas, los cristales de kamacita son largos, generalmente más largos que el espécimen y equiaxiales; en las octaedritas se distinguen como lamelas, mientras que en las ataxitas la kamacita no es fácilmente identificable. En particular para el caso de las octaedritas, su subclasificación se basa en el ancho de las lamelas de kamacita, que depende del contenido de Ni y del enfriamiento del cuerpo parental del meteorito; cuanto menor es el contenido de Ni y/o más lento sea el enfriamiento, más ancha será la lamela.

Tabla 1. Información de las muestras analizadas

Características generales				Datos de muestras analizadas		
Nombre	Número de inventario	Boletín Meteorítico	Peso (gramos)	Procedencia	Masa analizada (gramos)	Clasificación obtenida
Dadín	MLP-18344	No	26000	Campamento Dadin, Neuquén	7.50	IIIAB
Ñorquin	MLP-18398	No	14400 (masa principal)	Ñorquin, Neuquén	8.38	IIIB
Otumpa	MLP-18583	No	870	Otumpa, Chaco	9.50	pallasita
La Rioja	MLP-18589	BM 104	992	La Rioja	8.00	IAB
El Sampal	MLP-18097	BM 53	181	Estancia de Nueva Lubecka, Chubut	11.70	IIIAB
Caperr	MLP-18397	No	114000 (masa principal)	Chubut	10.60	IIIA
Huaytiquina	MLP-18822	No	102.6	Salta	13.28	IIAB
La Plata restos	MLP-18078	No	40	?	5.76	pallasita

Tabla 2. Clasificación estructural de los meteoritos metálicos y correspondencia con la clasificación química.¹

Clase estructural	Símbolo	Ancho de banda (mm)	Correspondencia con clasificación química
Hexaedrita	H		IIA
Octaedrita muy gruesa	Ogg	>3.3	IIB
Octaedrita gruesa	Og	1.3-3.3	I, IIIE
Octaedrita media	Om	0.5-1.3	IIIAB, IIIA, IIIB, IID
Octaedrita fina	Of	0.2-0.5	IVA, IIIC
Octaedrita muy fina	Off	<0.2	IIID
Octaedrita plesítica	Opl	<0.2	IIC
Ataxita	D	-	IVB
Anómala	Anom	Varios	

¹Adaptado de Buchwald (1975).

Con el advenimiento de mejores equipos -que permitieron análisis de elementos en concentraciones muy bajas- a la clasificación estructural se sumó su composición química. La aplicación generalizada de la clasificación química se debe en gran medida al trabajo de J. Wasson y colaboradores, quienes han analizado y clasificado sistemáticamente casi la totalidad de los meteoritos de hierro conocidos, durante los últimos 30 años. En ella, es el contenido en níquel (Ni), iridio (Ir), galio (Ga) y germanio (Ge) que permite la diferenciación en 14 grupos, a saber: IAB, IC, IIAB, IIC, IID, IIE, IIF, IIG, IIAB, IIICD, IIIE, IIIF, IVA e IVB (Wasson 1985, Buchwald 1975).

La designación con números romanos y letras fue iniciada por Lovering (1957) quien clasificó cuatro grupos: del I al IV, en función de su contenido de Ga y Ge, correspondiendo al grupo I los valores más altos de estos dos elementos que decrecen hacia el grupo IV. Posteriormente Wasson refina esta clasificación e introduce nuevos grupos. Se adicionaron las letras A, B, C, D y E a los números romanos para indicar si los elementos siderófilos (Ga, Ge, Ir) estaban fraccionados entre ellos o no.

El contenido de Ge y Ga demostró ser un parámetro muy útil para definir grupos. El Ga muestra un comportamiento similar al Ge, pero con una variación ligeramente menor entre grupos. Por otra parte, el Ir muestra un rango muy amplio dentro de los grupos y ayuda a ordenar los miembros dentro de cada grupo. Los datos de concentración de estos elementos, junto con el Ni, permitieron dar comienzo a una clasificación de los meteoritos de hierro en diversos grupos químicos (Wasson 1967, 1970, Wasson y Kimberlin 1967).

Cada grupo está compuesto por cinco o más miembros. Se cree que los meteoritos de hierro de cada grupo químico comparten el mismo origen y se formaron en un cuerpo progenitor común. Sin embargo, más del 15% de los meteoritos de hierro no se ajustan al esquema de clasificación existente y presentan composiciones estructurales y elementales úni-

cas. A estos meteoritos de hierro se los denomina “no agrupados” (*ungrouped*), representando a más de 50 cuerpos parentales. El término miembro anómalo de un grupo se aplica solo a aquellos meteoritos que comparten la mayoría de las propiedades con los miembros de un grupo, pero difieren significativamente en dos o más de ellas.

En la tabla 2 se detalla la clasificación estructural de los meteoritos metálicos y su correspondencia con la clasificación química. Si bien el enfoque estructural y el enfoque químico son coherentes entre sí, los meteoritos metálicos suelen sufrir procesos de difusión en estado sólido que son mucho más eficientes para transformar e inclusive eliminar estructuras primarias en comparación con los meteoritos rocosos, así como procesos de deformación plástica severa. Es por ello que una clasificación acabada utilizando sólo la caracterización microestructural, puede ser dificultosa. Inclusive es posible que meteoritos con la misma composición química tanto en elementos mayoritarios como en elementos traza, bajo ciertas circunstancias, formen la misma estructura típica de una octaedrita, o de una ataxita. Por ello la mejor clasificación para propósitos genéticos y definir el grupo al que pertenece, se basa en la clasificación química, mientras que la clasificación estructural debería reservarse como guía para determinar las condiciones de enfriamiento iniciales y los procesos secundarios de metamorfismo.

Es importante mencionar que de los 17 registros oficiales correspondientes a meteoritos metálicos de Argentina que figuran en la base de datos de la *Meteoritical Society (The Meteoritical Bulletin Database 2025)*, solamente ocho cuentan con información publicada en un Boletín Meteorítico (BM). Entre estos ocho, se encuentran dos de los ejemplares del MLP seleccionados; El Sampal y La Rioja, publicados en el BM 53 y 104, respectivamente (Tabla 1).

Los resultados de esta primera etapa de trabajo permiten incrementar el valor científico de la colección del MLP al

Tabla 3. Análisis por activación neutrónica (INAA) (datos en µg/g)

Nombre	Dadin	La Rioja	Caperr	Ñorquin	El Sampal	Otumpa	La Plata restos	Imilac	Huaytiquina	Filomena
Grupo	IIIAB	IAB	IIIA	IIIB	IIIAB	Pallasita	Pallasita	Pallasita	IIAB	standard
Cr	22	87	15	15	14	82	48	64	55	68*
Co	5200	4530	5290	5250	5230	5570	5300	5850	4500	4540*
Ni	85600	87500	88500	91200	89000	92300	103800	82800	56700	55400
Cu	137	363	147	121	134	121	149	149	129	134*
Ga	21.2	23.4	21.8	19.6	19.9	19.4	21.5	20.9	60.0	58.7
As	8.2	13.8	10.7	11.6	9.8	24.4	24.3	27.0	4.75	4,73*
W	0.59	1.13	0.48	0.43	0.6	0.18	0.19	0.25	2.53	2,62*
Ir	0.41	7.1	0.24	0.06	0.61	0.09	0.09	0.09	3.41	4.00
Pt	7.1	11.7	6.1	n.d.	7.9	2.21	2.51	2.30	21.2	20,7*
Au	1.02	1.42	1.31	1.61	1.28	2.45	2.59	2.25	0.60	0,61*

Referencia: Los valores menores a 5 µg/g se expresan con dos decimales; n.d.: no determinado;*: Wasson et al., 1989.

subsanan errores previos, clasificar y reclasificar parte de los meteoritos y principalmente destacan la necesidad de una reclasificación integral de los meteoritos de hierro con base química.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

Los estudios fueron realizados mediante técnicas avanzadas de caracterización que no se encuentran disponibles en el país. Las muestras fueron procesadas por John T. Wasson (UCLA) mediante la técnica de activación de neutrones (INAA: Instrumental-Neutron-Activation-Analysis) descrita en Wasson (2017). El procedimiento de análisis es el utilizado por Wasson et al. (1989). Se determinaron 10 elementos (Cr, Co, Ni, Cu, Ga, As, W, Ir, Pt y Au) y los datos son medias basadas en análisis duplicados, con excepción de Huaytiquina y La Plata restos. Los límites de confianza relativos del 95 % de las medias son del 1,5 al 3 % para Co, Ni, Ga, Ir y Au, del 4 al 6 % para As, W (valores > 0,3 µg/g) y Pt (>2 µg/g). El espécimen Filomena (o North Chile-Filomena) disponible en la Colección de Meteoritos de la UCLA (Universidad de California, Los Ángeles) se utilizó como standard. En la tabla 3, los valores para Filomena indicados con asterisco (*) corresponden a Wasson et al. (1989). Los contenidos de Ni, Ga e Ir fueron corroborados en el presente estudio. Según lo indicado por Wasson et al. (1989) la muestra Filomena -perteneciente al grupo IIAB de hexaedritas del norte de Chile- es ideal para ser un estándar porque está compuesto casi en su totalidad por tres fases: kamacita (~98%), schreibersita (~1%, distribuida de manera más o menos uniforme en forma de rabditas - microcristales idiomórficos prismáticos- finas) y troilita (~1%, relativamente gruesa y fácil de evitar durante el muestreo).

Así mismo, fue necesario incluir en los análisis una muestra de la pallasita Imilac, con el fin de discutir los resultados correspondientes al meteorito que estaba registrado como Otumpa.

Muestras

Las características generales de las muestras analizadas (i.e., número de inventario, masa disponible en el MLP y su procedencia) y la información de las muestras enviadas para analizar (i.e., cantidad de cada muestra enviada y su clasificación) se detallan en la tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones -expresadas en µg/g- de los 10 elementos analizados en las ocho muestras seleccionadas se detallan en la tabla 3. En la misma se incluyen los análisis del standard (Filomena) utilizado y los de la pallasita Imilac.

Los resultados muestran que, de los ocho meteoritos inicialmente clasificados como metálicos, seis resultaron efectivamente metálicos, mientras los dos restantes fueron reclasificados como pallasitas.

A continuación, se brindan detalles de los meteoritos analizados reunidos según sus grupos. La clasificación de los meteoritos de hierro en grupos es el primer paso para comprender la variedad de propiedades químicas y estructurales que presentan estos objetos. Dentro de cada grupo se brinda una reseña de las características principales (p. ej., mineralógicas y posibles modelos genéticos, etc.) y posteriormente la información de las muestras del grupo analizadas.

GRUPO IIIAB (III A/III B)

Características del Grupo

Del total de meteoritos de hierro analizados (Tabla 1), más del 60% corresponden al grupo IIIAB (III A y III B, Tabla 1). La abundancia de los IIIAB no sorprende, ya que aproximadamente un tercio de todos los meteoritos de hierro existentes pertenecen al grupo IIIAB. Es el grupo más grande con concentraciones masivas de Ni que oscilan entre el 7 y el 10,5%. Los sufijos A y B designan las partes de bajo y alto contenido de Ni. Los meteoritos de hierro con <8,5% de Ni (III A) contienen inclusiones de sulfuro con muy poca schreibersita. Aquellos con alto contenido de Ni (III B) contienen inclusiones de sulfuro recubiertas de schreibersita y láminas de schreibersita orientadas (Krot et al. 2004).

El contenido de As y Ni (Fig. 1) muestra correlaciones positivas con tendencias similares en varios grupos (excluyendo los IAB). Estas tendencias son de origen ígneo y probablemente resultan de la cristalización fraccionada del metal fundido en los cuerpos originales (Scott 1972). En los IAB la tendencia es mucho menos pronunciada y las evidencias mineralógicas también indican que este grupo tiene una historia diferente (ver Grupo IAB). Los valores de As y Ni de los meteoritos del grupo IIIAB (Dadin, Ñorquin, Caperr y El Sempal) (Fig. 1) se ubican entre las líneas de tendencias de los IIIAB y IIE por lo que es necesario la utilización de otros pares de

elementos químicos [e.g., Au vs Co o Ga vs Ni (Fig. 1B, 2 A-B)] para su correcta clasificación, como se explica a continuación.

El análisis de más de 300 meteoritos de hierro permitió a Scott et al. (1973) completar la brecha composicional entre los meteoritos de hierro III A y III B y mostrar que ambos grupos están relacionados ya que todas las tendencias químicas establecidas en III A pueden extrapolarse a III B. Scott et al. (1973) designan a la secuencia completa “grupo IIIAB”. El gráfico de Ga vs Ni (Fig. 2 A) muestra la secuencia continua desde el 7,1% hasta el 10,5% de Ni. La totalidad de muestras analizadas por Scott et al (1973) caen dentro del área definida con contornos, la cual incluye los meteoritos analizados del MLP correspondientes a ese grupo (Fig. 2 A).

Estos autores conservan las denominaciones III A y III B para indicar la posición de un meteorito en esta secuencia y proponen una relación Ir/Ni de 0,02 como línea divisoria entre ambos grupos. El gráfico Ni vs Ir (Fig. 2B) muestra esta relación a través de una línea discontinua y la localización de los meteoritos III A: El Sempal, Dadin, Caperr y Ñorquin (III B) analizados.

Los valores de las edades de exposición a rayos cósmicos de los meteoritos III A y III B (Voshage 1967) se mantienen notablemente constantes en 650 ± 100 millones de años. Esto constituye una sólida evidencia de que todos los meteoritos de la secuencia IIIAB se formaron simultáneamente durante

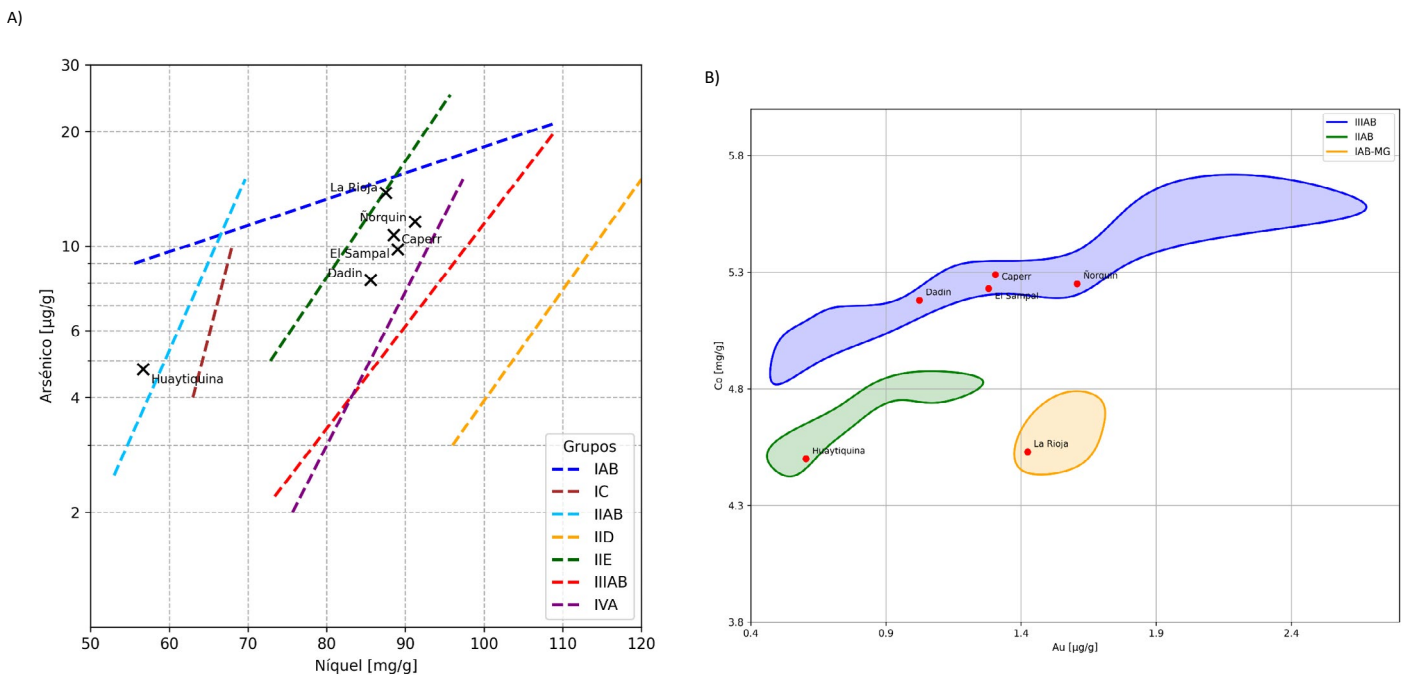


Figura 1. A) Gráfico logarítmico de As vs Ni que muestra las correlaciones positivas de As Ni con tendencias similares en varios grupos (excluyendo los IAB). Modificado de Scott (1979). B) Gráfico logarítmico de Au vs Co mostrando las áreas correspondientes a los meteoritos de hierro magmáticos IAB-MG (MG: Main Group), IIAB y IIIAB y la ubicación de las muestras analizadas del MLP. Modificado de Wasson (2011).

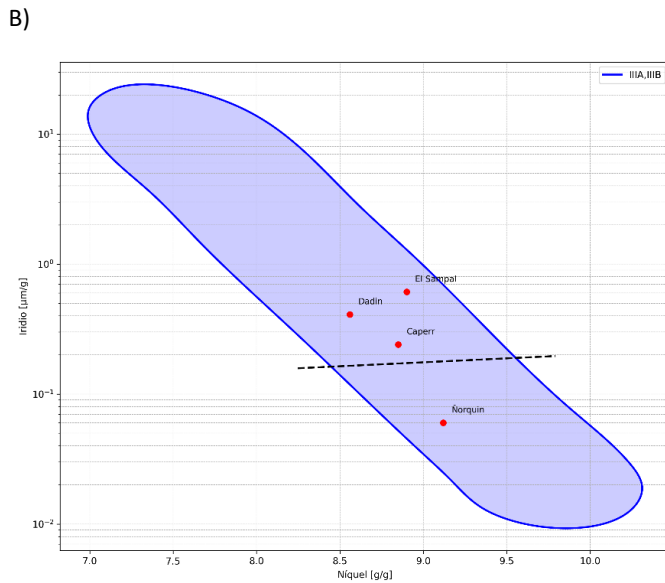
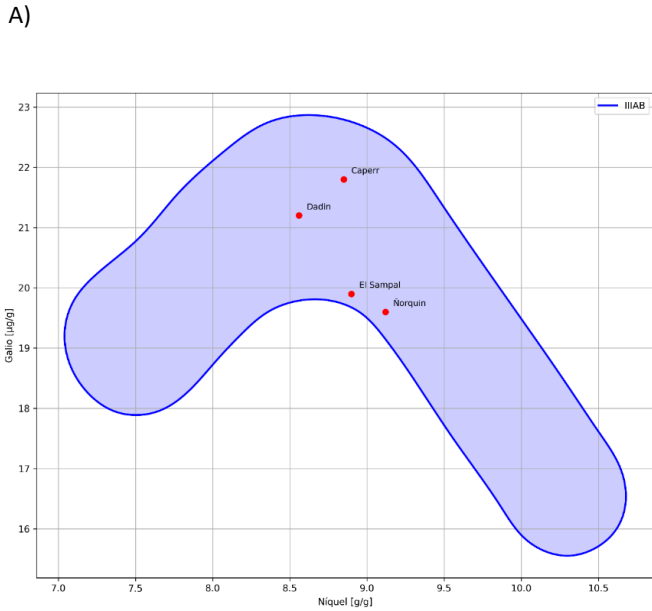


Figura 2. A) Gráfico de Ga vs Ni mostrando la secuencia continua a través de los grupos IIIA a IIIB y la ubicación de las muestras analizadas del MLP. Modificado de Scott et al., (1973). B) Gráfico de Ir vs Ni mostrando la relación Ir/Ni de 0,02 como línea divisoria entre los grupos IIIA y IIIB. Modificado de Scott et al., (1973).

una única colisión en ese momento.

Dadín

Una masa de 26,5 kg fue encontrada en 1949 cerca de Campamento Dadín, a 12 km de la estación ferroviaria Plaza Huincul (Hey 1966) y fue descrito con un análisis: 6,7% Ni (Ducloux 1949).

En los registros del MLP hay dos muestras correspondien-

tes al meteorito Dadín inventariadas bajo los números 18824 y 18344. Esta última fue la que se seleccionó para analizar (Fig. 3) ya que figuraba erróneamente catalogada bajo el nombre de El Perdido. El error se reconoció ya que El Perdido es un meteorito rocoso (una condrita ordinaria de tipo H5) y no un meteorito de hierro.

En las bases de datos de la Meteoritical Society figuraba únicamente la clasificación estructural del meteorito Dadín: “meteorito de Hierro, octaedrita gruesa”. Su composición química no está publicada en ningún Boletín Meteorítico, siendo fundamentales los resultados de este estudio para reforzar su clasificación.

La composición química de Dadín indica que es un meteorito de hierro del grupo IIIAB (Figs. 2 -1B). Su pariente más cercano en Argentina es el meteorito Agua Blanca (octaedrita del grupo IIIAB, encontrado en 1938 en La Rioja) y en Sudamérica es el meteorito de hierro Slaghek (octaedrita media del grupo IIIAB proveniente del desierto de Atacama). Wasson et al. (1999) y Scott et al., (1973) presentan un detallado informe sobre los miembros del grupo IIIAB.

Caperr

Este meteorito, también denominado por su sinónimo Caperr Aiken, se encontraba en la localidad de Pastos Blancos (Chubut) según lo menciona el explorador inglés George Musters. En 1896 Francisco P. Moreno envió a Julio Germán Koslowsky –colaborador de Moreno en los relevamientos



Figura 3. Muestra de Dadín MLP 18344, masa de 26.3 Kg. En el borde superior derecho se muestra un detalle del corte (7,55 g) enviado para análisis.

para la definir los límites con Chile- a buscar el espécimen, quien lo encontró en el parador (kaike) de Caperr. Un trozo de la masa principal (Fig. 4) de este meteorito se incluyó entre las muestras seleccionadas con el objetivo de convalidar su clasificación e incrementar la cantidad de elementos analizados. Las concentraciones de Ni: 85.8 mg/g, Ir: 0.24 ppm, Ga: 21 ppm y Ge: 45.3 ppm aportadas inicialmente por Scott et al. (1973) permitieron ubicarlo dentro del grupo IIIA. Los contenidos de As y Ni (Tabla 3) lo ubican en la nube de puntos entre las tendencias correspondientes a los IIIAB y IIE (Fig. 1A). Los contenidos de los nuevos elementos analizados (e.g., Co y Au, Fig. 1B) lo ubican dentro del área correspondiente al grupo IIIAB.

Los nuevos análisis químicos corroboran la clasificación existente y amplían la cantidad de elementos químicos analizados mediante la incorporación de resultados de Cr, Co, Cu, As, W, Pt y Au (Tabla 3).

Ñorquin

Este meteorito de hierro fue hallado en 1945 en la provincia de Neuquén con una masa de 19.25 kg (Figura 5). En la descripción realizada por Ducloux (1945, p. 163), se indica lo siguiente:

“En el residuo del ataque ácido pudo caracterizarse el grafito (sin que la cohenita pudiese comprobarse) bajo la forma de copos amorfos y por excepción como láminas cristalinas. Los granos de sílice no poseen formas bien definidas y de los silicatos sólo pudo identificarse olivita, por sus propiedades ópticas, pues es también la única especie que aparece en cristales aislados de diámetro apreciable”.

El ancho de banda de la kamacita es de 0,8 mm, por lo tanto, en el rango de Om (grupo estructural correspondiente a una octaedrita media).

Según los contenidos de Ni: 91.4 mg/g, Ir: 0.064 ppm; Ga: 20.6 ppm y Ge: 41.4 ppm aportados inicialmente por Wasson et al., (1989), Ñorquin pertenece al grupo IIIB. Los nuevos análisis corroboran la clasificación existente (Fig.1B; Fig. 2 A-B) y amplían la cantidad de elementos químicos mediante la incorporación de resultados de Cr, Co, Cu, As, W, Pt y Au (Tabla 3).

El Sampil

Un espécimen de 142 kg fue encontrado parcialmente enterrado en el suelo durante un viaje de prospección geológica a principios de 1973, a unos 20 km al este de la ciudad de Nueva Lubecka. El espécimen (Fig. 6) fue clasificado como una octaedrita media (Clarke 1975). Los minerales de fosfato en El Sampil, cuentan con numerosos estudios, tanto en su composición química (e.g., elementos mayores y traza) como



Figura 4. Muestra de Caperr MLP y detalle de la muestra de 10,7 gramos enviada para análisis.

isotópica (e.g., Jones and Drake 1983, Malvin et al. 1986).

Este meteorito pertenece al grupo IIIAB según los valores de Ni: 92.2 mg/g, Ir: 0.63 ppm, Ga: 21.4 ppm y Ge: 39.6 ppm (Wasson 1999). Los resultados de este estudio expanden la lista de elementos químicos tradicionalmente analizados (e.g., Ni, Ir, Ga y Ge) anexando Cr, Co, Cu, As, W, Pt y Au (Tabla 3) y ratifican su clasificación (Fig. 1B, 2A-2B).



Figura 5. Rebanada del meteorito Ñorquin con un detalle de los 8.38 gramos enviados para análisis.

GRUPO IAB

Características del grupo

Los meteoritos del grupo IAB resultan de la agrupación de los antiguos IA y IB. Wasson y Kallemeyn (2002) argumentan que los IAB y los IIICD forman un solo grupo denominado IAB complejo. Estos autores muestran la complejidad en estos meteoritos mediante la reevaluación de los datos sobre 13 elementos químicos (e.g., Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Sb, W, Re, Ir, Pt, Au), los cuales les permite revelar la presencia de un grupo principal bien definido, tres subgrupos con bajo contenido de Au y dos con alto contenido de Au, dos grupos pequeños con bajo contenido de Au y 25 meteoritos de hierro

no agrupados relacionados.

Con respecto a las características genéticas, las comparaciones entre las tendencias químicas mostradas por los meteoritos de hierro y su mineralogía muestran que hay dos grandes tipos. Los denominados “Magmáticos” -al cual pertenecen los meteoritos de hierro: IIAB, IIIAB y IVA-IVB- que están prácticamente libres de silicatos y presentan tendencias químicas que coinciden con las predichas por los modelos de cristalización fraccionada con amplios rangos en concentraciones elementales (especialmente en Ir). La importancia del Ir reside en que es un elemento con un alto coeficiente de partición entre el metal sólido y el líquido. Es justamente el estudio del Ir en los meteoritos de tipo IIIAB el que mostró una gran similitud con una secuencia de cristalización fraccionada de un metal (e.g., Scott 1972, Haack y Scott 1993).

El segundo tipo son los llamados “no magmáticos” (e.g., IAB, IIE y IIICD), que contienen abundantes silicatos, grafito y carburos, y muestran tendencias muy diferentes en los diagramas interelementales. La ausencia de tendencias químicas claras de cristalización fraccionada es una limitación importante en la historia de los meteoritos IAB, generando un continuo debate en los modelos de formación y evolución. Otra limitación importante de los IAB son las abundantes inclusiones de silicatos relativamente primitivos con composiciones químicas condriticas que no se adecuan a la imagen clásica del origen de los meteoritos de hierro como residuos de la fusión y diferenciación temprana. Así, por ejemplo, Wasson et al. (1980) y Choi et al. (1995) proponen que los “no magmáticos” se forman por fundidos generados por impactos con efectos superpuestos de partición sólido/líquido.

Las tendencias geoquímicas en los meteoritos de hierro IAB, como por ejemplo la relación As vs Ni, con valores de As que varían entre 10 y 40 $\mu\text{g/g}$ para valores de Ni entre 70 y 400 mg/g (parte de esta tendencia se muestra en la Figura 1A) difiere de los demás grupos y son objeto de intensos debates. El modelo de Wasson y Kallemeyn (2002) sugiere que la masa fundida metálica se produjo principalmente por calentamiento por impacto, mientras que otros modelos prefieren fuentes de calor internas, como la desintegración del ^{26}Al . Según Wasson y Kallemeyn (2002) si la fuente de calor ha sido la desintegración del ^{26}Al , no es posible evitar la separación de pequeños granos de silicato (100 μm) en las masas metálicas fundidas del grupo IAB, ya que estos deberían separarse en escalas de tiempo de un año o menos. Los resultados de isotopos de W (Schreinberg et al. 2016) ofrecen información adicional sobre la presencia y/o ausencia del ^{26}Al durante la formación de los IAB. Los meteoritos de hierro “magmaticos” presentan proporciones de $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ que se encuentran dentro del margen de error de la proporción inicial inferida de las

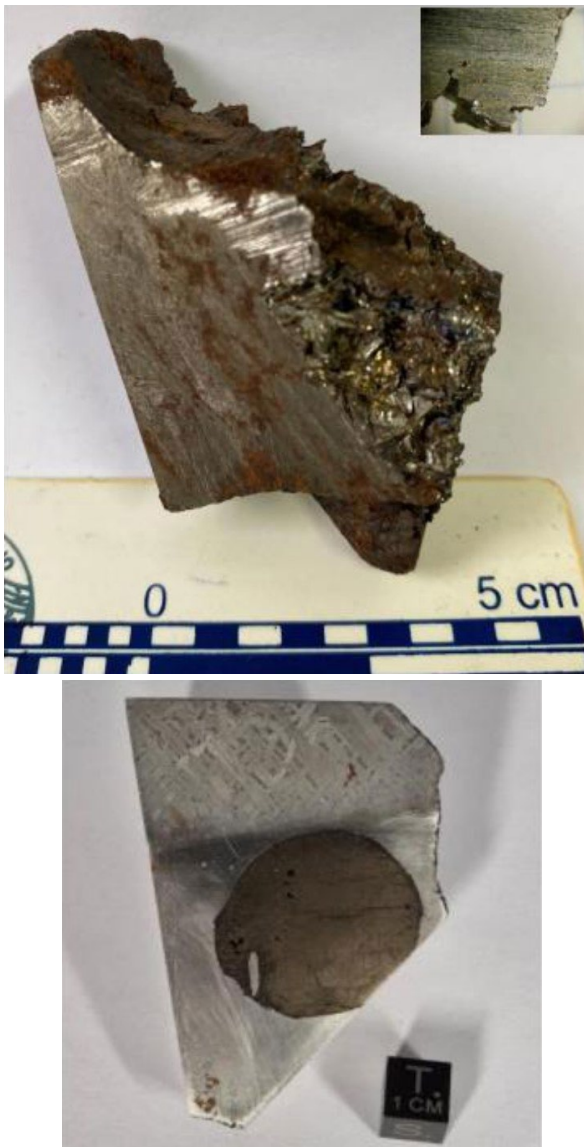


Figura 6. A) Muestra El Sampil MLP y detalle del fragmento enviado para análisis. B) Detalle de la superficie de El Sampil atacada solo la mitad, para dejar sin intervención de ácidos el nódulo de Troilita (34x29 mm). N° de colección 169, Colección Eduardo Jawerbaum.

CAIs (Calcium-Aluminium-Inclusions), lo que implica que los núcleos de los cuerpos parentales se formaron <1 My después de la formación de las CAIs, cuando el ^{26}Al era una potente fuente de calor (p. ej., Kleine et al. 2009). Por el contrario, los meteoritos de hierro “no magmáticos” (e.g., IAB) presentan proporciones de $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ más altas, lo que concuerda con un origen en cuerpos que acrecieron algunos My más tarde, cuando el ^{26}Al no era lo suficientemente abundante como para formar núcleos (e.g., Schulz et al. 2009, 2012).

La Rioja

Según los registros del MLP este meteorito es sinónimo de Puerta de Arauco. La masa de 992 g. de La Rioja (Fig. 7) es comparable con la masa principal de 1.1 kg de Puerta de Arauco. El ancho de banda de la kamacita es de 0.28 mm, por lo tanto, se encontraría en el rango de una octaedrita fina, correspondiente con un meteorito de hierro IVA (Tabla 2). Sin embargo, las altas concentraciones de un elemento diagnóstico como el As (>10 $\mu\text{g/g}$) (Fig. 1 A) ubican a la Rioja cerca de a la tendencia de los IAB. Los nuevos análisis efectuados, sobre todo los contenidos de Ni: 87 mg/g, Ga: 23.4 $\mu\text{g/g}$, Ir: 7.1 $\mu\text{g/g}$, Au: 1.42 $\mu\text{g/g}$ y Co: 4530 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 3), indican que es un miembro no agrupado del complejo IAB (Fig. 1B). La Rioja, es químicamente similar al meteorito de hierro Alga-

rrabo de Chile (octaedrita fina correspondiente al grupo IAB, encontrado en las cercanías de la mina de hierro de Algarrobo en 1959).

Por lo tanto, se puede confirmar que La Rioja -incorrectamente clasificado como perteneciente al grupo IVA- es el mismo meteorito que Puerta de Arauco.

La clasificación de Puerta de Arauco (sinónimo: La Rioja) en el Meteoritical Bulletin era incorrecta y a continuación se copia la corrección efectuada:

A sample of Puerta de Arauco was provided to John T. Wasson, UCLA, by Maria E. Varela. At the time of transfer, the mass was being called by the synonym "La Rioja" by the La Plata staff. The structure and the description of the size of the remaining mass were consistent with Buchwald's entry for Puerta de Arauco. The new estimated bandwidth is 0.28, and Buchwald's was 0.35 mm; thus the structure is described correctly as Of. The NHM catalog is incorrect in calling the meteorite a IVA iron. It is, in fact, an ungrouped member of the IAB complex, with the following composition: Cr = 87 $\mu\text{g/g}$; Co = 4.53 mg/g; Ni = 87.4 mg/g; Cu = 362 $\mu\text{g/g}$; Ga = 23.4 $\mu\text{g/g}$; As = 13.8 $\mu\text{g/g}$; Ru = 8.0 $\mu\text{g/g}$; Sb = 223 ng/g; W = 1.13 $\mu\text{g/g}$; Os = 8.4 $\mu\text{g/g}$; Ir = 7.1 $\mu\text{g/g}$; Pt = 11.7 $\mu\text{g/g}$; Au = 1.424 $\mu\text{g/g}$. (Bouvier et al. 2017).

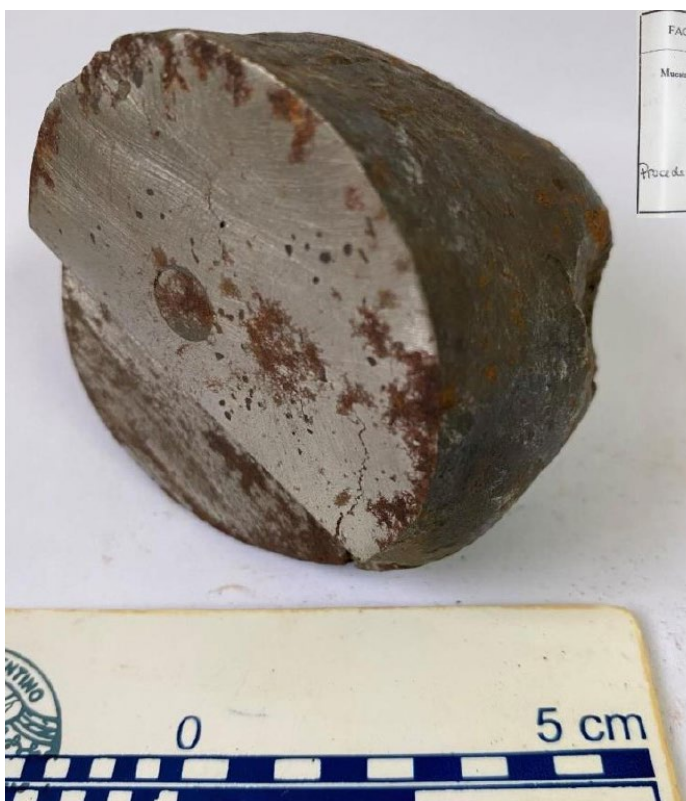


Figura 7. Muestra de Puerta de Arauco (La Rioja MLP) y detalle de la muestra (8 g) enviada para análisis.

GRUPO IIAB

Características del grupo

El grupo IIAB, el tercer grupo más grande de meteoritos de hierro, está compuesto por meteoritos del grupo IIA (5,3-5,7 % de Ni), que son grandes monocristales de kamacita con maclas de deformación de Neumann y rabditas microscópicas y el grupo IIB (5,7-6,5 % de Ni), que son octaedritas más gruesas (Krot et al. 2004). Algunos especímenes del grupo IIA y un número menor en los IIB contienen kamacita que fueron afectadas por impactos (Buchwald 1975).

Las tendencias de As vs Ni del IIAB están bien definidas (Fig. 1A) y, en general, son consistentes con la cristalización fraccionada simple a partir de una masa fundida metálica con un contenido inicial de S de aproximadamente el 18 % en peso. Debido al alto contenido de S, parece probable que se haya producido inmiscibilidad líquida en el sistema Fe-S-P durante la cristalización fraccionada (Wasson et al. 2007).

Huaytiquina

Este meteorito se encontró cerca de la localidad de Huaytiquina, Salta, en 1998 y desde el año 2003 es parte de la colección de Eduardo Jawerbaum (Figura 8). Los estudios microestructurales preliminares mostraron que se trataba de

una hexaedrita. Debido a su similitud con las hexaedritas del Norte de Chile no fue publicado en ningún Boletín Meteorítico. El MLP posee 2 trozos pulidos de 64.5 y 38.1 grs (masa total: 102.6 gr, Figura 8 B) bajo el número de inventario MLP 18822 (Tabla 1). Las muestras fueron donadas en el año 2010 por Eduardo Jawerbaum.

Los resultados de este estudio (p. ej., la relación As vs Ni y Au vs Co Fig. 1A-1B) indican que Huaytiquina tiene una composición química que permite clasificarlo como un meteorito de hierro correspondiente al grupo IIAB (Tabla 3). Teniendo en cuenta el nivel de precisión analizado, no se lo puede distinguir de la composición correspondiente al meteorito Filomena, utilizado como estándar en estos análisis. En la tabla 3 se observa la similitud en las concentraciones en los elementos analizados para Huaytiquina y Filomena.

PALLASITAS

Características

Las pallasitas son meteoritos mixtos compuestos de olivino y fases menores, como troilita, cromita, schreibersita, piroxeno, fosfatos y olivino rico en fósforo, dentro de una matriz metálica de FeNi. Existen tres tipos de pallasitas que se distinguen por sus diferencias en la mineralogía y la composición isotópica de oxígeno: (1) el grupo principal; (2) el grupo de Eagle Station; y (3) las pallasitas de piroxeno (e.g., Boesenberg et al. 2012 y referencias allí citadas). Las pallasitas se habrían formado en el límite entre el núcleo metálico de un asteroide fundido y diferenciado y el manto rico en olivino circundante, pero su origen preciso es controvertido. Un detallado informe de los diversos conceptos y modelos predominantes sobre la formación de las pallasitas desde 1942 hasta 2010 se resumen en la Tabla 4 de Boesenberg et al. (2012) junto a una detallada discusión de los pro y contras de los modelos de mezcla selectiva, fusión y cristalización fraccionada. El modelo más reciente de Yang et al., (2010) sugiere la formación de las pallasitas a través de un modelo de impacto con mezcla selectiva. Si bien el metal de las pallasitas tiene una composición similar a la de los hierros IIIAB ricos en níquel, Yang et al. (2010) muestra que las pallasitas del grupo principal se enfriaron a diferentes velocidades, de 2,5 a 20 K por millón de años (K/Myr). Estas velocidades son mucho más lentas que las del grupo de meteoritos de hierro IIIAB (50-350 K/Myr), lo que sugiere que los meteoritos del grupo IIIAB no se enfriaron en el núcleo del cuerpo parental de las pallasitas del grupo principal.

Según una visión ampliamente generalizada, las pallasitas, los meteoritos de hierro, y sus asteroides parentales pueden ser vistos como vestigios de una vasta población de cuerpos diferenciados con una violenta historia de impactos ocurridos en una época temprana del Sistema Solar. El problema con la mayoría de estos modelos es que suponen condiciones iniciales para las que no hay evidencia directa. Hasta el presente, no se ha encontrado evidencia a priori en las muestras de pallasita que requiera mezcla por impacto. Si bien el modelo de impacto es posible, se requieren estudios más detallados antes que pueda ser totalmente aceptado. Por ejemplo, Scheinberg et al. (2016) estudia los procesos físicos activos durante la cristalización de un núcleo planetesimal y las implicaciones para los campos magnéticos de los asteroides según se trate de un modelo con solidificación acumulada del núcleo interno o un escenario de solidificación dendrítica interna. En ambos escenarios el tamaño del asteroide es fundamental ya que la acción de la dínamo durante la solidifica-

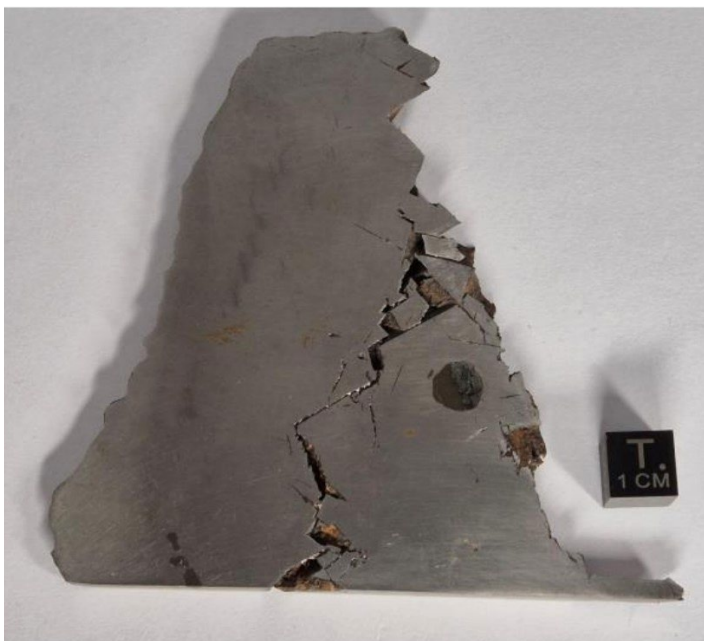


Figura 8. Muestra de Huaytiquina: A) Rodaja de 87×93×5 mm, de 189.6 gramos. N° de colección 347, Colección Eduardo Jawerbaum. B) Detalle de las dos piezas de Huaytiquina de 38.1 (B1) y 64.5 (B2) gramos en la colección del MLP.

ción es posible si el cuerpo es suficientemente grande.

Otumpa

M. Kantor (1920) -en la Guía y catálogo de la Colección de Meteoritos existentes en el museo de La Plata- describe lo que se transcribe a continuación:

“Miguel de Celis investigó por primera vez este meteorito en el año 1783. Fue hallado por los indios en un lugar desierto, llamado Otumpa, en el Gran Chaco. El meteorito sobresalía del suelo, donde estaba enterrado, unos 30 cm. Y se pensó al principio que se trataba de una veta mineral. Un ejemplar de 1400 libras (634 kg) fue transportado a Buenos Aires, al principio de la independencia y regalado al embajador de Inglaterra Sir Woodbine Parish. Se encuentra desde el año 1826 en el Museo Británico. El meteorito fue analizado por Proust y Howard y reconocido como hierro niquelífero sin silicatos.

Un análisis completo realizado por Sjöström en 1898, indica: Fe: 94.25 wt%; Ni: 5.11 wt%; Co: 0.57wt%.

El meteorito contiene nódulos de grafito y troilita. Del Otumpa poseemos solo un fragmento de 870 gramos.

Existen, además del ejemplar más grande del Museo Británico, fragmentos en otros museos; en el Museo Nacional de Historia Natural de Paris, de un peso de 2353 gramos, en el Field Museum de Chicago, de dos fragmentos de un peso total de 793 gramos, en la Colección Ward Coonley, Chicago de 793 gramos. El Otumpa figura en algunos catálogos con el nombre de Campo del Cielo”.

La muestra de Otumpa figuraba en el inventario del MLP como: Campo del Cielo (Otumpa), pero su aspecto macroscópico (Fig. 9) difiere notablemente de las otras muestras de Campo del Cielo que posee el MLP en su colección. Es por ello que se decidió incluir una muestra para su análisis. Según los resultados de este trabajo, la muestra de Otumpa no corresponde al meteorito de hierro “Campo del Cielo”, sino que se trata de un ejemplar de la pallasita Imilac. Los contenidos analizados de Ni: 92300 µg/g; Ga: 19.4 µg/g; As: 24.4 µg/g; Ir: 0.09 µg/g y Au: 2,45 µg/g son valores en su mayoría intermedios entre la mejor estimación de la composición de Imilac (Tabla 3) y la mejor estimación de la composición de Ilimaes (meteorito de hierro, IIIAB, hallado en Atacama, Chile), que Buchwald (1975) (Vol. 2, página 672) afirma que tiene la misma estructura metálica que Imilac.

La Plata restos

Entre las muestras de la colección del MLP había una escasa cantidad de fragmentos altamente oxidados a los que se denominó “La Plata restos” (Fig. 10). Su aspecto hacía suponer que se trataban de restos de la pallasita Imilac ya que



Figura 9. Muestra del meteorito OTUMPA con un detalle de la muestra de 9.5 gramos enviada para análisis. Escala: cubo inferior: 1 cm.



Figura 10. Muestra de 5,76 g de La Plata Restos con un alto grado de oxidación enviados para análisis.

la muestra que posee el MLP se caracteriza por la presencia de oquedades. Para dar certeza a esta suposición, se decidió enviar una cantidad de 5.76 gramos para analizar. La escasa cantidad de muestra sólo permitió realizar una sola irradiación. Si bien esto podría afectar los errores en los datos, según lo indicado por J. Wasson las pallasitas siempre tienen errores de muestreo relativamente altos. La comparación entre la composición química de estos restos con aquellos de Imilac (Tabla 3), indica que, efectivamente, se trata de restos de la pallasita Imilac.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió un ordenamiento con base química robusta de una primera selección de muestras de la colección de meteoritos alojados en el Museo de La Plata. Los resultados dieron lugar a:

1) La primera clasificación en base a la química de los meteoritos Dadin (IIIAB), Huaytiquina (IIAB), así como de la muestra denominada La Plata restos (Pallasita).

2) La rectificación en las clasificaciones (tanto los registros del MLP como los del *Meteoritical Bulletin*) de los meteoritos La Rioja (IAB) y Otumpa (pallasita).

3) La ratificación de las clasificaciones químicas existentes con ampliación en la cantidad de los elementos químicos analizados de los meteoritos Caperr (IIIA), El Sampal (IIIAB) y Ñorquin (IIIB).

Este estudio demuestra la importancia de considerar la realización de análisis químicos completos para garantizar la robustez de la clasificación y reevaluar la existencia de muestras anómalas. Es por ello que, es necesario analizar el mayor número posible de meteoritos metálicos utilizando el método químico para reforzar las observaciones microestructurales, y obtener una clasificación actualizada de los meteoritos de hierro alojados en las diferentes colecciones de los museos argentinos, incrementando el valor científico de las mismas.

Los resultados del presente estudio se enviarán al Comité de Nomenclatura de la *Meteoritical Society* para complementar la correcta clasificación de los ejemplares estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con la invaluable colaboración de John Wasson (1934-2020) -profesor emérito de Ciencias de la Tierra, Planetarias y Espaciales de la UCLA (Universidad de California, Los Ángeles) y co-creador de la Colección de Meteoritos de esa universidad- a quien estamos profundamente agradecidos. Agradecemos el trabajo del editor M. Spagnuolo y dos revisores cuyos comentarios permitieron incrementar la claridad del mismo.

REFERENCIAS

Boesenberg, J.S., Delaney, J.S. y Hewins, R.H. 2012. A petrological and chemical re-examination of Main Group pallasite formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 89: 134–158.

Bouvier, A., Gattacceca, J., Agee, C., Grossman, J. y Metzler, K. 2017. *The Meteoritical Bulletin*, No. 104. *Meteoritics & Planetary Science* 52(10): 2284-2284.

Buchwald, V. 1975. *Handbook of iron meteorites*. University California Press, 1426 p. Berkeley.

Clarke, R.S. Jr. 1975. *The Meteoritical Bulletin* No. 53. *Meteoritics*, 10: 133–146.

Ducloux, E.H. 1945. *Notas del Museo de La Plata*, 10 (Geología no. 40),

p. 163 (M.A.9-302), La Plata.

Ducloux, E. H. 1949. *Notas sobre el hierro meteórico de campamento Dadín (Neuquén)*. *Notas del Museo de La Plata*, 14 (Geología no. 54): 177 (M.A.11-445).

Haack, H. y Scott, E.R.D. 1993. Chemical fractionations in group IIIAB iron meteorites: Origin by dendritic crystallization of an asteroidal core. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 3457–3472.

Hey, M.H. 1966. *Catalogue of Meteorites: With Special Reference to Those Represented in the Collection of the British Museum (Natural History)*. British Museum (Natural History), London, p. 127.

Jones, J.H. y Drake, M.J. 1983. Experimental investigations of trace element fractionations in iron meteorites. II: The influence of sulfur. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47: 1199–1209.

Kleine, T., Touboul, M. y Bourdon, B. 2009. Hf–W chronology of the accretion and early evolution of asteroids and terrestrial planets. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73: 5150–5188.

Krot, A.N., Keil, K., Goodrich, C.A., Scott, E.R.D. y Weisberg, M.K. 2004. *Classification of Meteorites*. In Davis, A.M. (ed.), *Treatise on Geochemistry, Meteorites, Comets, and Planets*, Elsevier, Vol. 1: 83–128. Oxford.

Malvin, D.J., Jones, J.H. y Drake, M.J. 1986. Experimental investigations of trace element fractionation in iron meteorites. III: Elemental partitioning in the system Fe–Ni–S–P. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50: 1221–1231

Scott, E.R.D. 1972. Chemical fractionation in iron meteorites and its interpretation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 86: 1205-1236.

Scott, E.R.D. 1979. Origin of anomalous iron meteorites. *Mineralogical Magazine* 43: 415-421.

Scott, E.R.D., Wasson, J.T. y Buchwald, V.F. 1973. The chemical classification of iron meteorites: VII. Reinvestigation of irons with Ge concentrations between 25 and 80 ppm. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37: 1957-1983.

Scheinberg, A., Tanton, L.T.E., Schubert, G. y Bercovici, D. 2016. Core solidification and dynamo evolution in a mantle-stripped planetesimal. *Journal of Geophysical Research- Planets* 121: 2–20.

Schulz, T., Munker, C., Palme, H. y Mezger, K., 2009. Hf–W chronometry of the IAB iron meteorite parent body. *Earth and Planetary Science Letters* 280: 185–193.

Schulz, T., Upadhyay, D., Munker, C. y Mezger, K. 2012. Formation and exposure history of non-magmatic iron meteorites and winonaites: Clues from Sm and W isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 85, 200–212.

The Meteoritical Bulletin Database. 2025. The Meteoritical Society. Retrieved February 27, 2025, from <https://www.lpi.usra.edu/meteor/>

Voshage, H. 1967. *Bestrahlungslter und Herkunft der Eisenmeteorite*. *Zeitschrift für Naturforsch* 22a: 477-506.

Wasson, J.T. 1967. The chemical classification of iron meteorites-I. A study of iron meteorites with low concentrations of gallium and germanium. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31:161-180.

- Wasson, J.T. 1970. The chemical classification of iron meteorites-IV. Irons with Ge concentrations greater than 190 ppm and other meteorites associated with group I. *Icarus* 12: 407-423.
- Wasson, J.T. 1985. *Meteorites – Their Record of Early Solar-System History*. Freeman, 267p. New York.
- Wasson, J.T. 1999. Trapped melt in IIIAB irons: solid/liquid elemental partitioning during the fractionation of the IIIAB magma. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63: 2875-2889.
- Wasson J.T. 2011. Relationship between iron-meteorite composition and size: Compositional distribution of irons from North Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75: 1757-1772.
- Wasson, J.T. 2017. Formation of non-magmatic iron-meteorite group IIE. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 197: 396-416.
- Wasson, J.T. y Kimberlin, J. 1967. The chemical classification of iron meteorites-II. Irons and pallasites with germanium concentrations between 8 and 100 ppm. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 31: 2065-2093.
- Wasson, J.T., Willis J., Wai C.M. y Kracher A. 1980. Origin of iron meteorite groups IAB and IIICD. *Zeits. Naturforsch* 35a: 781–795.
- Wasson, J.T., Ouyang, X., Wang, J. y Jerde, E. 1989. Chemical classification of iron meteorites: XI. Multi-element studies of 38 new irons and the high abundance of ungrouped irons from Antarctica. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53: 735–744.
- Wasson J. T., Choi B.-G., Ulf-Møller F. y Jerde E. 1998. Chemical classification of iron meteorites: XII. New members of the magmatic groups. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62: 715–724.
- Wasson, J.T. y Kallemeyn, G.W. 2002. The IAB iron meteorite complex: a group, five subgroups, numerous grouplets, closely related, mainly formed by crystal segregation in rapidly cooling melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66: 2445-2473.
- Wasson, J.T., Huber, H. y Malvin, D.J. 2007. Formation of IIAB iron meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71: 760–781.
- Yang, J., Goldstein, J.I. y Scott, E.R.D. 2010. Main-group Pallasites: Thermal History, Relationship to IIIAB Irons, and Origin. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74: 4471-4492.