

LITOESTRATIGRAFÍA, BIOESTRATIGRAFÍA, CRONOESTRATIGRAFÍA

Horacio Parent

Laboratorio de Paleontología & Biocronología, IFG, FCEIA,
Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000
Rosario, Argentina. Correo-e: parent@fceia.unr.edu.ar

Resumen. Entre los numerosos sistemas de clasificación estratigráfica se destacan como fundamentales la litoestratigrafía (tipos de roca, litología), la bioestratigrafía (contenido fósil), y la cronoestratigrafía (edad estratigráfica de las rocas). Cada sistema de clasificación incluye una nomenclatura específica constituida por unidades organizadas. Esta independencia surge naturalmente de las características de las sucesiones de roca que se consideran en cada clasificación. Estas diferencias imponen la necesidad de especificar el tipo de correlación que se establece cuando se comparan sucesiones estratigráficas. Las diferencias entre biozona (unidad bioestratigráfica) y zona cronoestratigráfica son simples y esenciales, aunque a veces son confundidas ó utilizadas indistintamente. La unidad bioestratigráfica biohorizonte es el vínculo entre bioestratigrafía y cronoestratigrafía, es la unidad que permite establecer una secuencia temporal de rocas a partir de la secuencia de fósiles contenida en ellas.

Palabras clave: estratigrafía – clasificación – nomenclatura – secuencias de fósiles – secuencias de tiempo – correlaciones – escalas estandarizadas.

INTRODUCCIÓN

La estratigrafía consiste en el estudio de las rocas estratificadas, y para ello el primer paso es la descripción y clasificación. Como para todos los sistemas naturales, pueden elaborarse diversas clasificaciones y nomenclaturas. Y así es que existen varios sistemas de clasificación que han ido elaborándose a lo largo de los mas de 300 años de historia de estudios con algún interés en aspectos del significado y de la edad de las rocas. Estos estudios fueron sistematizándose gradualmente.

Steno (1669) formuló las primeras leyes de la estratigrafía y reconoció la verdadera naturaleza de los fósiles como restos de animales vivientes en épocas pasadas. Un hito fundamental fue el enunciado, por parte de Steno, del principio de superposición, a partir del cual se establecieron las bases para el estudio de las rocas en términos temporales. Otro temprano y crucial avance se produjo a partir de los estudios de Lavoisier (1789), quién

estableció el principio fundamental de las solapaciones transgresivas y regresivas (véase revisión de Carozzi 1965).

Existen importantes diferencias entre los diferentes sistemas de clasificación estratigráfica, las cuales pueden aprovecharse muy fructíferamente para estudios paleontológicos, estratigráficos, y de geología histórica, entre otros. Sin embargo, aún cuando disponemos de un código estratigráfico internacional (Salvador 1994) y otros varios locales, prácticamente uno por cada país, no hay consenso general acerca de grandes aspectos de la clasificación y de la nomenclatura, especialmente en bioestratigrafía y cronoestratigrafía.

En esta nota ofrecemos una síntesis de los sistemas mas importantes de clasificación estratigráfica y su nomenclatura, la triada fundamental: litoestratigrafía, bioestratigrafía, y cronoestratigrafía. Nos ocuparemos con interés especial en algunos aspectos específicos de la cronoestratigrafía que generalmente no son considerados.

CLASIFICACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Los tres sistemas de clasificación estratigráfica mas importantes se basan sobre diferentes características de las rocas (Fig. 1):

(1) Litoestratigrafía: se consideran las características litológicas de los cuerpos de roca

(2) Bioestratigrafía: se considera el contenido fósil de las rocas

(3) Cronoestratigrafía: se considera la edad de las rocas. La edad estratigráfica consiste en intervalos de tiempo representados por intervalos de roca. Estos intervalos se definen como unidades (ver abajo) con nombres específicos (e.g., Cenozoico, Cretácico Superior, Zona Proximus), representando intervalos de tiempo de duración variable y en principio desconocida. Estos intervalos pueden datarse numéricamente mediante distintos métodos que proveen aproximaciones, en general poco útiles.

La definición de las unidades de cada clasificación estratigráfica es independiente de las demás. Sin embargo, la cronoestratigrafía puede derivarse de características bioestratigráficas de las sucesiones, lo cual se discute abajo.

Los tres sistemas están basados sobre diferentes características en su clasificación y método, por lo cual las correlaciones deben especificarse como correlación litoestratigráfica, correlación bioestratigráfica, y correlación cronoestratigráfica o temporal, según las características consideradas para la comparación.

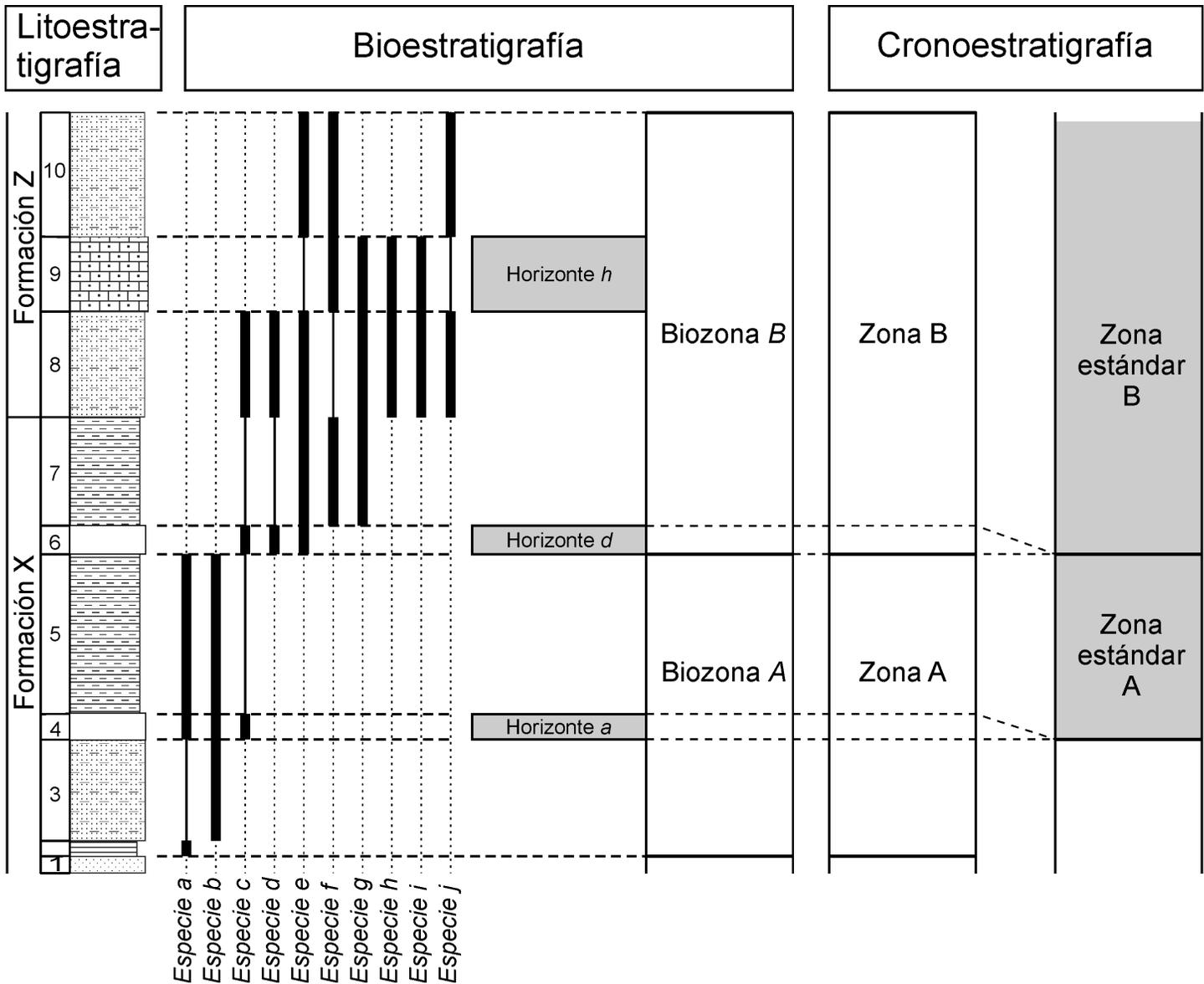


Figura 1. Esquema conceptual de la construcción de una escala cronoestratigráfica por medio de la definición de zonas a partir de la translación de la distribución bioestratigráfica de la secuencia de fósiles en secuencias de roca-tiempo. Como ejemplo, el Horizonte *a* es nombrado a partir de la *especie a* elegida como índice, y es caracterizado (y puede ser reconocido en otras secciones) por la co-ocurrencia de las *especies a, b* y *c*. La Biozona A es definida por el intervalo de ocurrencia de la *especie a*, accesoriamente podría reconocerse por la ocurrencia de las *especies b, c*, alguna de sus combinaciones. La Zona A, conjugada de la Biozona A, corresponde al intervalo de tiempo representado por la sucesión de rocas de los niveles 2-4. La Zona Estándar A es definida por su base, la cual consiste en el plano de tiempo representado por el *Horizonte a*. Nótese que el límite entre las Formaciones X y Z no coincide con los límites de las unidades bio- y cronoestratigráficas.

NOMENCLATURA

Cada sistema de clasificación estratigráfica se organiza con una nomenclaturas específica, consistente en unidades y subunidades organizadas jerárquicamente. Cada unidad debe definirse en una sección tipo.

(1) Unidades litoestratigráficas, definidas como cuerpos de roca con una litología determinada (independientemente de su edad o contenido fósil):

- estrato
- formación (puede subdividirse en miembros)
- grupo
- supergrupo

(2) Unidades bioestratigráficas, definidas como cuerpos de roca caracterizados por su contenido fósil (independientemente de su edad y litología):

- horizonte fáunico ó bio-horizonte
- sub-biozona

- biozona. Estrato o estratos conteniendo un determinado número de especies fósiles. Se han propuesto numerosos tipos de biozona (e.g. Código Argentino de Estratigrafía 1992: 30), sin embargo nunca queda claro como estas diferentes "biozonas" se relacionan con las respectivas eventuales subzonas. Por otra parte, todos estos tipos de "biozonas" dependen de variables condiciones de muestreo y reconocimiento, por lo tanto aquí no se recomienda su utilización en forma tácita.

(2) Unidades cronoestratigráficas, definidas como cuerpos de roca delimitados por planos de tiempo y caracterizadas por su edad, independientemente de su litología:

- zona cronoestratigráfica, ó mas simplemente y sin ambigüedad: zona
- subzona
- piso
- serie
- sistema

Las biozonas y bio-horizontes se nombran con la segunda parte del nombre binomial de la especie elegida como índice, con tipografía cursiva (itálica). Las biozonas con la primera letra mayúscula, mientras que los bio-horizontes con todo su nombre en letras minúsculas (e.g. Callomon 1985). Las zonas cronoestratigráficas son nombradas con la segunda parte del nombre binomial de la especie índice, escrita con la primera letra mayúscula y tipografía en recto. Esta nomenclatura es la única utilizada históricamente, sin excepciones, para las unidades cronoestratigráficas de jerarquía superior (e.g. Era Paleozoico, Período Cretácico, Estado/Piso Sinemuriano). Generalmente las zonas tienen el mismo nombre que su biozona conjugada, de manera que el uso de tipografía recta permite una clara diferenciación entre estas unidades estratigráficas de distinta naturaleza.

Es importante insistir en que las zonas y biozonas son unidades estratigráficas, no zoológicas, por lo que no se requiere el uso del nombre completo de la especie índice. Además, el uso del nombre completo produce inestabilidad nomenclatural, dado que es frecuente que las especies sean reasignadas genéricamente.

En las clasificaciones cronoestratigráficas basadas sobre fósiles (cronoestratigrafía bioestratigráfica) las unidades son caracterizadas por su contenido fósil. Es importante notar que los límites superior e inferior de cada unidad consisten en planos de tiempo que no son reconocibles en

el terreno, sino inferidos ó estimados a partir de los fósiles ocurrentes. Sin embargo estos planos de tiempo pueden ser definidos, y luego reconocidos, a partir de bio-horizontes. Si las unidades son definidas sólo por su base, como un bio-horizonte, se establece una secuencia estandarizada que es el estado más avanzado de una clasificación estratigráfica.

Estas escalas cronoestratigráficas estándar no presentan lagunas (intervalos sin asignación) ni solapaciones o superposiciones de unidades.

Cuando la edad estratigráfica es estimada a partir del contenido fósil, la relación entre bio- y cronoestratigrafía es crucial. La utilidad de las clasificaciones cronoestratigráficas radica en que permiten elaborar esquemas de ordenamiento temporal de sucesos biológicos y geológicos locales y luego la correlación temporal de estas sucesiones locales con las de otras regiones de la Tierra, es decir, reconstruir la historia geológica. Estas unidades cronoestratigráficas son las unidades de medida de una escala, tal como el metro en la escala de longitud. La diferencia con las del tipo de ésta última radica en que cada unidad posee un nombre, y no es un intervalo de una escala numérica. Estas unidades son presentadas como subdivisiones cuya duración temporal numérica no es considerada.

Especie índice y especies guía. Estos dos conceptos son independientes y fueron claramente diferenciados por Oppel (1858) al introducir el concepto de zona (cronoestratigráficas desde su concepción, ver Callomon 1995, Page 2017, Mönnig 2017); sin embargo, son frecuentemente confundidos o utilizados indiferentemente.

La especie índice cumple, en principio, la única función de proveer un nombre, tomándose la segunda parte de su nombre específico binomial, para etiquetar o nombrar la zona (o biozona) en la cual al menos debe ocurrir.

Las especies guía, o conjunto característico, son aquellas que se utilizan para caracterizar las zonas (o biozonas); la especie guía puede formar parte. Mediante los fósiles guía se reconocen las zonas en otras localidades fuera de la localidad de la sección tipo, siendo este reconocimiento la base del procedimiento de correlación cronoestratigráfica con base bioestratigráfica. Los fósiles guía ideales son aquellos con las siguientes características:

- (1) su morfología (fenotipo) cambia rápidamente durante su evolución,
- (2) amplia distribución geográfica,
- (3) abundantes en rocas de distintas facies,
- (4) no requieren técnicas muy laboriosas ó especiales de preparación y de estudio, y
- (5) fácilmente identificables por inspección visual.

Los amonites, como fósiles de animales que fueron muy abundantes en todos los mares y océanos paleozoicos y mesozoicos, con conchas de tamaño medio fácilmente manipulable, de muy variadas morfología y ornamentación, que se han preservado muy convenientemente y distribuido muy ampliamente, se acercan sorprendentemente al ideal. De todas maneras limitaciones existen, especialmente con respecto a su distribución paleogeográfica. En numerosos intervalos de la historia evolutiva de los Ammonoidea se han producido distribuciones claramente segmentadas en franjas aproximadamente latitudinales (Arkell 1956, Dommergues & Marchand 1988, Cecca 1999). Esta distribución latitudinal ha producido la segregación en variados dominios australes, tethysianos, y boreales que imponen el desarrollo de escalas locales para su posterior correlación temporal con la escala estándar primaria internacional (Callomon 1995, 2001, Schweigert 2015).

ESCALAS CRONOESTRATIGRÁFICAS DERIVADAS DE LA BIOESTRATIGRAFÍA: CRONOESTRATIGRAFÍA BIOESTRATIGRÁFICA

Entre las diferentes componentes del registro estratigráfico disponibles para establecer escalas cronoestratigráficas, se destaca, por su nivel de resolución y precisión, el registro fósil. Toda secuencia de fósiles tiene una secuencia temporal conjugada (Fig. 1). Es decir, que estas sucesiones de distinta naturaleza pueden relacionarse biunívocamente por medio del establecimiento de la sucesión de fósiles cuyas diferencias fueron modeladas por la evolución orgánica de cada una de las especies. Una vez establecida la sucesión de asociaciones de fósiles pueden utilizarse para definir escalas de tiempo estratigráfico o cronoestratigráficas. Estas últimas permiten datar otros terrenos por correlación temporal basada sobre la semejanza de las sucesiones fosilíferas locales con aquella de la localidad tipo de la unidad cronoestratigráfica.

Las estimaciones isotópicas/radiométricas de edades numéricas son muy imprecisas con respecto a la precisión y resolución de las cronoestratigráficas basadas en amonites (Holland 1989, Callomon 1995, Torrens 2002, Page 2017). Por otra parte estas dataciones numéricas son difícilmente secuenciables por depender de condiciones excepcionales de muestreo, lo cual impide la obtención de secuencias de dataciones con densidad comparable a las basadas sobre fósiles. Estas limitaciones hacen que las dataciones numéricas sean prácticamente inútiles para correlación temporal ya que son muy imprecisas y por otra parte difícilmente puedan compararse con dataciones semejantes, si existen, de los estratos tipo que definen las unidades de la escala cronoestratigráfica estándar internacional.

En conclusión, el proceso para la obtención de una clasificación cronoestratigráfica consiste en la translación de las secuencias de fósiles en sus secuencias de tiempo conjugadas representadas por intervalos de rocas con fósiles determinados. Para realizar esta translación, y así subdividir el intervalo de tiempo considerado/ comprendido en sub-intervalos (unidades cronoestratigráficas), deben designarse ciertos caracteres bioestratigráficos como marcadores de instantes geológicos –planos de tiempo– que definan los límites entre las unidades cronoestratigráficas. Los marcadores bioestratigráficos más estables y precisos son, sin dudas, los bio-horizontes, el vínculo observable y comparable entre bio- y cronoestratigrafía.

Marcadores bioestratigráficos. La base de la cronoestratigrafía bioestratigráfica es la definición de marcadores adecuados del registro fósil, que puedan considerarse planos de tiempo en la práctica. Es de suma importancia indicar el tipo de marcador bioestratigráfico que se considera en toda definición de unidades cronoestratigráficas. Los caracteres bioestratigráficos que se utilizan frecuentemente como marcadores temporales para establecer planos de tiempo son dos tipos de registro de la ocurrencia de fósiles:

(1) *puntuales*: primera y/o última ocurrencia de una especie/fósil. Estos marcadores son de carácter puramente local y consecuentemente muy imprecisos para practicar correlación temporal especialmente por su inherente inestabilidad. Las primeras y últimas ocurrencias, que en algunos casos son interpretadas como origen y extinción, son controladas por factores locales como escalas migratorias, condiciones ambientales in vivo, condiciones tafonómicas, y/o contingencias de muestreo, entre otras (Fig. 2). Las ocurrencias puntuales de los morfotipos de cualquier especie dependen no solamente de la edad de los estratos muestreados, sino también del tamaño de las muestras (Garrido & Parent 2013, Parent et al. 2015; cf. Dzik 1985). Cuando se consideran muestras de diferentes localidades o correspondientes a distintas cuencas sedimentarias, las diferencias pueden llegar a ser notables.

(2) *asociación o conjunto*: cuando se considera un conjunto de especies con rango concurrente, se establece un horizonte ó bio-horizonte. Un bio-horizonte es un estrato o serie de estratos, caracterizado por un conjunto especificado de fósiles (asociación guía o característica), intervalo en el cual éstos últimos no presentan cambios (evolutivos) de su morfología y por lo tanto no habilitan subdivisión. Estos conjuntos de fósiles pueden distinguirse, como asociación, de cualquier otro sub- o suprayacente.

El bio-horizonte es una unidad bioestratigráfica que representa el menor intervalo de tiempo que puede discriminarse, y posteriormente reconocerse, en

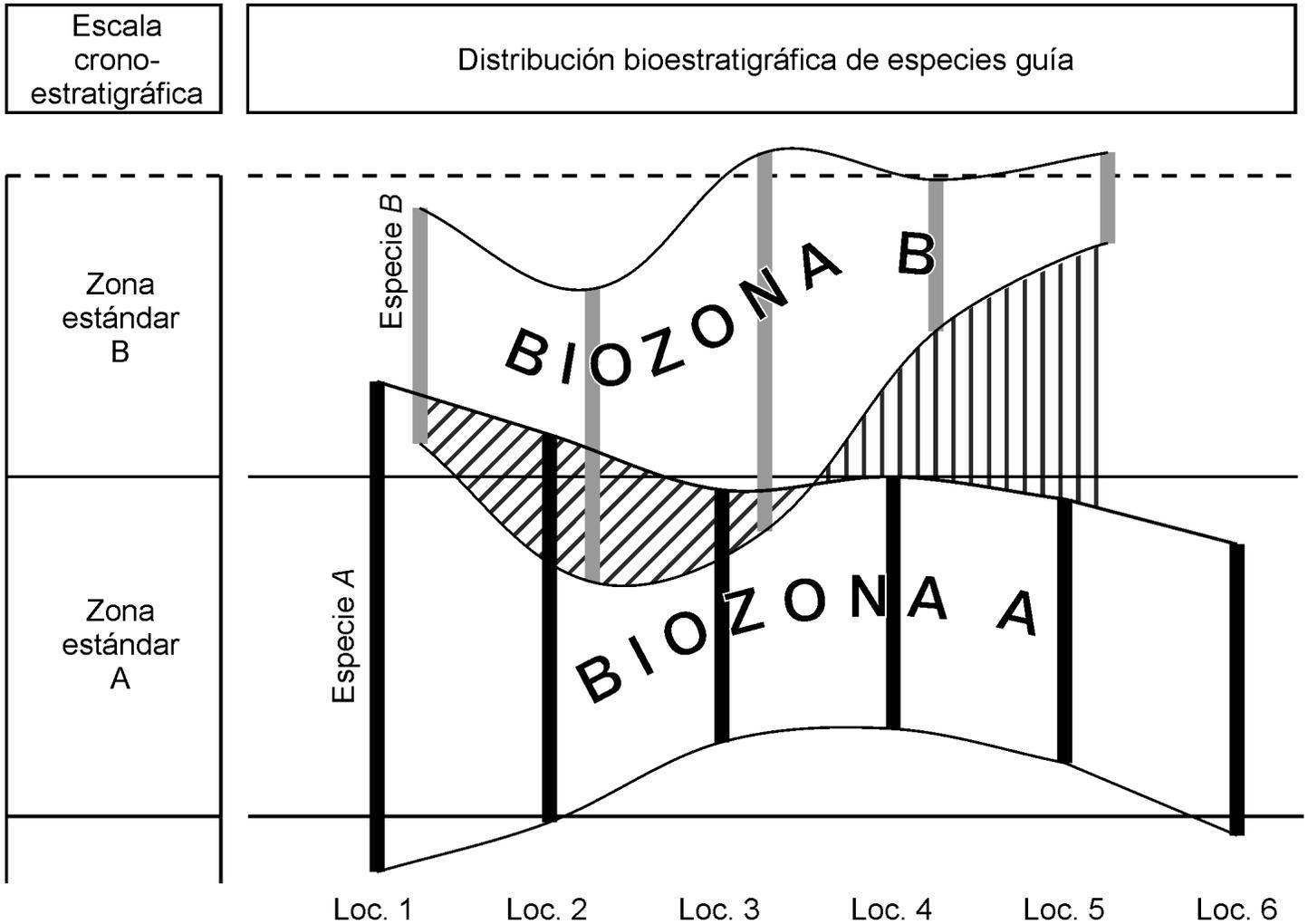


Figura 2. Relaciones entre zonas cronoestratigráficas y biozonas. Distribución bioestratigráfica de las especies guía A y B en secciones de distintas localidades (Locs. 1-6) datadas por una escala cronoestratigráfica parcialmente estandarizada. Los intervalos individuales de ocurrencia de las especies A y B en las diferentes localidades son diferentes por razones de muestreo, interpretación taxonómica, tafonomía, condiciones locales de los biotopos in-vivo, entre otras. El registro de estas ocurrencias puntuales determinan las biozonas locales, y en conjunto la cambiante biozona de cada especie en la región. Las biozonas típicamente presentan áreas donde se solapan (Locs. 1-3) y otras donde existen intervalos sin registro concurrente (Locs. 4-6). Estas dos situaciones, que son las mas frecuentes, son las fuentes principales de errores y/o imprecisiones en las correlaciones temporales basadas sobre biozonas, especialmente aquellas denominadas o basadas en primera y última ocurrencia de la especie guía. Las biozonas tienen límites verticales y horizontales (geográficos), son cuerpos de roca delimitados por el intervalo de ocurrencia de los fósiles, ya que éstos tienen límites en sus distribuciones geográfica y de registro vertical. Las zonas no tienen límites laterales ya que son planos de tiempo. Sin embargo su reconocimiento se dificulta por la naturalmente restringida distribución biogeográfica de las especies que la caracterizan en la localidad tipo. Esta dificultad se resuelve estableciendo escalas zonales (cronoestratigráficas) regionales y correlacionándolas temporalmente mediante fósiles que se registran en común en las regiones comparadas.

estratigrafía mediante fósiles, y por lo tanto la mejor aproximación a un plano de tiempo. Esta propiedad hace que los bio-horizontes sean los marcadores más apropiados para delimitar zonas cronoestratigráficas a partir de las secuencias de fósiles y sus biozonas, i.e., transformar las secuencias de fósiles en secuencias temporales para construir escalas de tiempo en términos estratigráficos. Esta unidad bioestratigráfica es el vínculo empírico directo entre cronoestratigrafía y bioestratigrafía.

Los bio-horizontes podrían considerarse biozonas, las más restringidas de todas las variantes, aquellas de "intervalo de concurrencia de conjunto" (discusión en Parent 2006). Estos marcadores son mucho más precisos y robustos por estar típicamente basados sobre un intervalo estratigráfico determinado por la co-ocurrencia de varios fósiles (véase Gabilly 1971, Callomon 1985, 1995, Garrido & Parent 2013 y referencias en estos artículos). La probabilidad de que una determinada asociación de los morfotipos de especies representadas en un bio-horizonte se repita en distintos momentos, en otras posiciones dentro de la secuencia estratigráfica, es virtualmente nula.

EJEMPLO DE CLASIFICACIÓN LITO-BIO-CRONOESTRATIGRÁFICA

Ofrecemos un ejemplo para ilustrar los conceptos discutidos, la nomenclatura, y su interpretación y aplicación. Este ejemplo está basado sobre los estudios originales de Krantz (1926), Weaver (1931), Leanza (1981), y los del presente autor junto a sus colaboradores (Parent et al. 2007, 2015, 2017, Parent & Garrido 2021), sobre el Tithoniano-Berriasiano de la cuenca Neuquina ó Neuquén-Mendoza.

Consideremos la secuencia de rocas que en la Cuenca Neuquina contiene abundantes amonites entre los que se destaca la especie *Windhausenicerias internispinosum* (Krantz, 1926). De acuerdo con su litología y su posición estratigráfica relativa concordante con respecto a formaciones colindantes, estas rocas corresponden litoestratigráficamente a la Formación Vaca Muerta. Esta unidad de edad Tithoniano-Valanginiano está ampliamente distribuída en toda la cuenca.

A partir de los fósiles contenidos, el intervalo de roca considerado puede clasificarse bioestratigráficamente, parcial ó totalmente dependiendo la localidad, como Biozona *Internispinosum*. En el sentido habitual corresponde a la sucesión de rocas que contienen *W. internispinosum*. El nombre de esta biozona es derivado del nombre de la especie mencionada, la cual fué seleccionada como especie índice y, dada la época por defecto, como especie guía, por Weaver (1931: 46).

El intervalo de roca considerado se clasifica cronoestratigráficamente como Zona *Internispinosum*.

Esta zona consiste en la secuencia estratigráfica, el intervalo de roca representando un intervalo de tiempo, comprendida entre la primera y la última ocurrencia de *W. internispinosum*. Estas primera y última ocurrencias se interpretan, aunque implícitamente, como planos de tiempo que delimitan la zona. La Zona *Internispinosum* puede reconocerse en cualquier localidad en la que se identifique la especie guía o alguna asociación de las especies de la asociación característica (ver Parent & Garrido 2021). Evidentemente, como se discutió arriba, estas ocurrencias tendrán diferentes edades en distintas localidades, por lo cual las dataciones basadas sobre esta propiedad bioestratigráfica son muy imprecisas; además de inestables ya que cambiarán con cada nuevo registro de la especie en la localidad. Podría decirse que en cada localidad con registro de *W. internispinosum* existe una diferente "Zona *Internispinosum*".

A partir de un marcador bioestratigráfico adecuado la Zona *Internispinosum* ha sido estandarizada (Parent et al. 2015). El marcador elegido fué un bio-horizonte, el vínculo entre bio- y cronoestratigrafía. Este horizonte se denomina Horizonte *internispinosum alfa*, que consiste en los estratos que contienen el conjunto de especies que define este bio-horizonte. La terminación "alfa" refiere a los amonites de la especie índice en este horizonte corresponden a los representantes tempranos de dicha especie, *W. internispinosum* transient alfa (Parent et al. 2015). Las especies fósiles tienen rangos que comúnmente superan ampliamente el horizonte, sin embargo los morfotipos que se suceden en el tiempo pueden diferenciarse. De esta forma queda definida la Zona *Internispinosum* Estándar: Intervalo de roca con base en el Horizonte *internispinosum alfa* y que se extiende hasta la base de la Zona *Alternans*.

Es importante resaltar algunos aspectos relevantes: (1) La presencia de *W. internispinosum* en forma aislada permite asignar el ó los estratos a la Zona *Internispinosum*, aunque siempre existe la posibilidad de que los estratos más altos, ó los más bajos del intervalo asignado a la zona puedan corresponder realmente a las zonas adyacentes. (2) El reconocimiento del Horizonte *internispinosum alfa*, a partir de al menos una parte significativa del conjunto de especies guía que lo caracterizan, indica la base de la Zona estándar *Internispinosum*; los niveles suprayacentes a este bio-horizonte son automáticamente asignables con certeza a la zona, hasta aproximadamente las primeras ocurrencias de amonites asignables a la Zona *Alternans*, ú otra si ésta no estuviera representada localmente. (3) La diferenciación entre zona y zona-estándar es de gran importancia, no sólo teórica sino también práctica. Las diferencias pueden resumirse en que existe una única Zona estándar *Internispinosum*, singularizada por su base en el Horizonte *internispinosum alfa*. Por otra parte, en cada localidad puede registrarse una Zona [no-estándar]

Internispinosum de diferente edad, dependiendo del primer y/o último registro de *W. internispinosum* o en términos de los amonites que se registren o consideren. (4) El reconocimiento local de la base de una zona estándar por medio del bio-horizonte característico no siempre es posible, sin embargo la zona puede reconocerse mediante los amonites que ocurren en dicha zona. Los planos de tiempo que definen las zonas por delimitación, raramente se reconocen fuera de la sección tipo. (5) La nomenclatura discutida arriba es ventajosa y conveniente en varios aspectos: (a) distingue los nombres de las zonas (ó biozonas) de los nombres de las especies de las cuales se derivan sus nombres, resaltando el hecho de que estas unidades no son entidades zoológicas; (b) la exclusión de la palabra "de" entre el nombre del tipo de unidad y el de la unidad propiamente dicho, además de evitar un error conceptual, evita el equívoco de asumir que la zona corresponde a la ocurrencia de la especie índice; (c) finalmente, el uso de sólo la segunda parte del nombre de la especie guía para el nombre de la zona (ó biozona) provee una base importantísima de estabilidad nomenclatural frente a cambios en la asignación genérica de la especie índice.

CONCLUSION

La nomenclatura cronoestratigráfica y los procedimientos de correlación cronoestratigráfica ó temporal (datación) no son adoptados en forma homogénea por los distintos autores, lo cual suele producir divergencias reales que dificultan las interpretaciones y aplicaciones de los resultados obtenidos a partir de distintos estudios. Los principales problemas generalmente se originan en el uso inconsistente de los términos zona, cronozona, y biozona, de la eculización de los conceptos de fósil guía y fósil índice, y otras veces en las prácticas de correlación cronoestratigráfica sobre la base de características litológicas de las sucesiones que se comparan.

En las secuencias de roca típicamente algunos de sus estratos contienen fósiles, distribuidos en forma variable. A partir de éstos pueden establecerse los intervalos (rangos) de su distribución vertical. Con esta información se construyen cartas de distribución bioestratigráfica local o secuencias de fósiles, y estas secuencias se utilizan para definir clasificaciones cronoestratigráficas conjugadas mediante marcadores puntuales adecuados (Fig. 1). En otras palabras, las secuencias de fósiles son transformadas en secuencias temporales y utilizadas para construir escalas de tiempo estratigráfico (Callomon 1985: 67).

Un aspecto importante que debiera tenerse siempre en cuenta es que los rangos de ocurrencia local difieren según la localidad, y cambian, aún localmente, a partir de sucesivos muestreos y/o los criterios taxonómicos de distintos autores. Las primera y última ocurrencias son

propiedades bioestratigráficas locales, dominadas por factores tafonómicos y muestrales que modelan las variaciones de registro a lo largo y ancho del área de ocurrencia de toda especie (Fig. 2).

El orden, a veces histórico, en que avanza el desarrollo de una escala cronoestratigráfica hace que en muchos casos estos procedimientos presenten dificultades en su aplicación. Modernamente el procedimiento mas adecuado y preciso consiste en la definición de bio-horizontes para estandarizar zonaciones que han sido derivadas de subdivisiones bioestratigráficas poco estables y a veces multiplicadas por los diferentes criterios de los autores. El procedimiento de definición de bio-horizontes para progresar hacia zonaciones estándar robustas y estables está ampliamente reconocido (e.g. Cariou & Hantzpergue 1997, Callomon 2003) y aplicado con buenos resultados.

Agradecimientos. Alberto C. Garrido (Zapala, Argentina) y Luciano Brambilla (Rosario, Argentina) contribuyeron valiosamente con su lectura crítica sobre el primer ensayo de este artículo.

REFERENCIAS

- Arkell W.J., 1956. Jurassic Geology of the world. Oliver & Boyd, Edinburgh & London, 806 p.
- Callomon J.H., 1985. Biostratigraphy, chronostratigraphy and all that – again! In: A. Zeiss & O. Michelsen (eds.): International Symposium on Jurassic Stratigraphy, Erlangen 1984. – *Geological Survey of Denmark*, p. 612-624.
- Callomon J.H., 1995. Time from fossils: S.S. Buckman and Jurassic high-resolution geochronology. In: M.J. Le Bas (ed.): Milestones in Geology. *The Geological Society Memoir* **16**: 127-150.
- Callomon J.H., 2001. Fossils as geological clocks. In: Lewis C.L.E. & Knell S.J. (eds.): The age of the earth: from 4004 BC to AD 2002. – *Geological Society of London Special Publications* **190**: 237-252.
- Callomon J.H., 2003. Essay Review. – *Proceedings of the Geologists's Association* **114**: 263-269.
- Cariou E. & Hantzpergue P., 1997. Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen: zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles. – *Bulletin du Centre de Recherche Elf-Exploration et Production* **17**: 79-86.
- Carozzi A.V., 1965. Lavoisier's fundamental contribution to stratigraphy. – *The Ohio Journal of Science* **65**: 71-85.
- Cecca F., 1999. Palaeobiogeography of Tethyan ammonites during the Tithonian (latest Jurassic). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **147**: 1–37.
- Código Argentino de Estratigrafía, 1992. Asociación Geológica Argentina, 62 p.
- Dommergues J.-L. & Marchand D., 1988. Paléobiogéographie historique et écologique: application aux ammonites du Jurassique. In:

- Wiedmann J. & Kullmann J. (eds): Cephalopods – Present and Past: 351-364. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Dzik J., 1985. Typologic versus population concepts of chronospecies: implications for ammonite biostratigraphy. – *Acta Palaeontologica Polonica* **30**: 71-92.
- Gabilly J., 1971. Méthodes et modèles en stratigraphie du Jurassique. – *Mémoire du Bureau de Recherche Géologique et Minière de France* **75**: 5-16.
- Garrido A.C. & Parent H., 2013. Estratigrafía y fauna de amonites de los depósitos "Lotenianos" (Caloviano Medio-Oxfordiano Inferior?) del anticlinal de Picún Leufú, Cuenca Nequina – Subcuenca de Picún Leufú, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **83**: 35-68.
- Holland C.H., 1989. Synchronology, taxonomy and reality. – *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **B325**: 263-277.
- Krantz F., 1926. Die Ammoniten des Mittel- und Obertithons. In: E. Jaworski, F. Krantz & H. Gerth (eds.): Beiträge zur Geologie und Stratigraphie des Lias, Doggers, Tithons und der Unterkreide im Süden der Provinz Mendoza (Argentinien). – *Geologische Rundschau* **17a**: 427-462.
- Lavoisier A., 1789. Observations generales sur les couches horizontales, qui ont ete deposees par la mer, et sur les consequences qu'on peut tirer de leurs dispositions, relativement a l'anciennete du globe terrestre. – *Memorie de la Academie Royal des Sciences* **1789**: 351-371.
- Leanza H.A., 1981. The Jurassic-Cretaceous boundary beds in West Central Argentina and their ammonite zones. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **161**: 62-92.
- Mönnig E., 2017. The evolution of Oppel's 'Macrocephalusbett' (Callovian, Middle Jurassic). – *Lethaia* **50**: 356-368.
- Oppel A., 1858. Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands. – *Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg* **12-14**: 1-857.
- Page K.N., 2017. From Oppel to Callomon (and beyond): building a highresolution ammonite-based biochronology for the Jurassic System. – *Lethaia* **50**: 336-355.
- Parent H., 2006. Oxfordian and late Callovian ammonite faunas and biostratigraphy of the Neuquén-Mendoza and Tarapacá basins (Jurassic, Ammonoidea, western South-America). – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **76**: 1-70.
- Parent H., Scherzinger A., Schweigert G. & Capello O.D., 2007. Amonites of the Middle Tithonian Internispinosum Zone from Barda Negra, southern Neuquén–Mendoza Basin, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **77**: 11-24.
- Parent H., Garrido A.C., Scherzinger A., Schweigert G. & Fözy I., 2015. The Tithonian-Lower Valanginian stratigraphy and ammonite fauna of the Vaca Muerta Formation in Pampa Tril, Neuquén Basin, Argentina. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **86**: 1-96.
- Parent H., Schweigert G., Scherzinger A. & Garrido A.C., 2017. Additional Tithonian and Berriasian ammonites from the Vaca Muerta Formation in Pampa Tril, Neuquén Basin, Argentina. – *Volumina Jurassica* **15**: 139-154.
- Parent H. & Garrido A.C., 2021. The Tithonian ammonite fauna of the transect Cerro Lotena-Cerro Granito, Vaca Muerta Formation, Argentina. I. Family Himalayitidae. – *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* **91**: 21-60.
- Salvador A., 1994. International Stratigraphic Guide. International Union of Geological Sciences.
- Schweigert G., 2015. Ammonoid Biostratigraphy in the Jurassic. In: C. Klug, D. Korn, K. DeBaets, I. Kruta & R.H. Mapes (eds.): Ammonoid Paleobiology: From macroevolution to paleogeography. – *Topics in Geobiology* **44**: 389-402.
- Steno N., 1669. De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus. Florence.
- Torrens H.S., 2002. Some personal thoughts on stratigraphic precision in the twentieth century. – *Geological Society of London, Special Publications* **192**: 251-272.
- Weaver A., 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. – *Memoirs of the University of Washington* **1**: 1-496.



Horacio Parent (15/11/62) es profesor en la Universidad Nacional de Rosario, Director del Laboratorio de Paleontología & Biocronología. Sus investigaciones se centran en la paleontología y estratigrafía del Jurásico y Cretácico, especialmente en la biología y evolución de los ammonoideos jurásicos. Editor del Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología (Rosario) y editor asociado de la revista *Revue de Paléobiologie* (Ginebra).

https://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/parent_h.htm