

**Morin y Mayr: La complejidad para abordar la Biología**

Desde hace semanas hemos girado en torno a las preguntas:

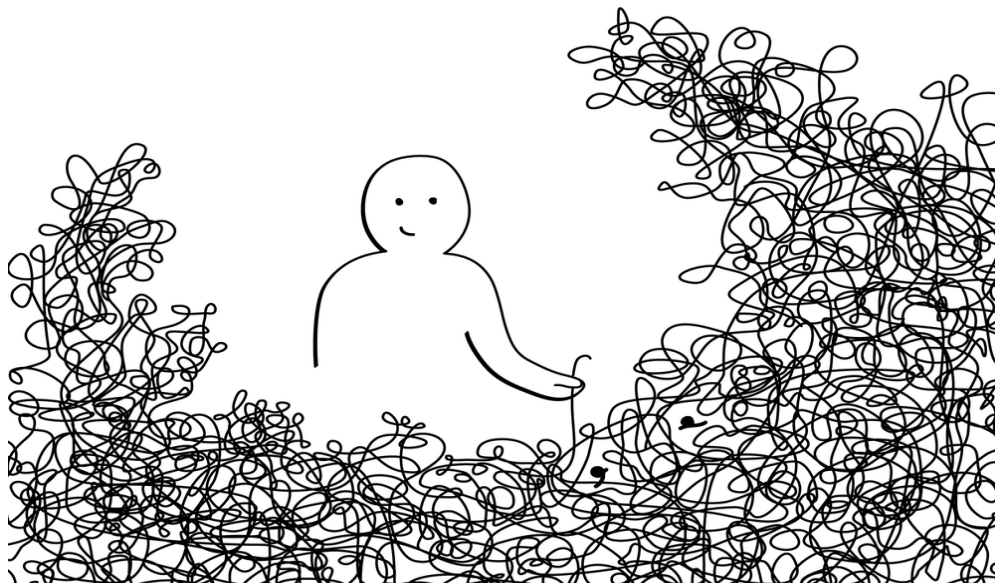


¿Qué es/son la/s ciencia/s?  
¿Cómo se hace ciencia?

En esta clase retomaremos a Morín con nociones desde su texto “La complejidad”. La propuesta consiste en regresar a esta idea, desde la Biología que se trabajó en las anteriores dos clases, pensando esta ciencia desde sus rasgos complejos.

En este momento del cursado podemos reconocer que en la ciencia clásica había dos brechas. La brecha microfísica reveló la interdependencia de sujeto y objeto, la inserción del azar en el conocimiento, la deificación de la noción de materia, la irrupción de la contradicción lógica en la descripción empírica; la brecha macrofísica unía en una misma entidad los conceptos hasta entonces absolutamente heterogéneos de espacio y tiempo y destruía todos nuestros conceptos desde el momento en que eran llevados más allá de la velocidad de la luz.

¿Cómo pensar este “tejido”?



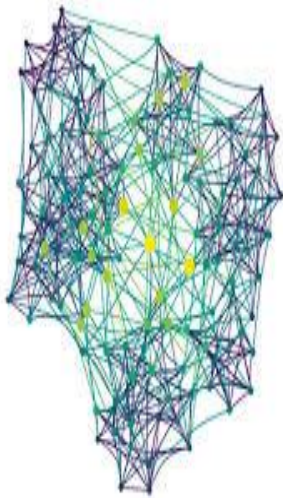
Al pensar la complejidad, las brechas se acercan, entonces la «materia» no es más la realidad masiva elemental y simple a la cual se pudiera reducir la phisis. El espacio y el tiempo no son más entidades absolutas e independientes. No se piensa más en una base empírica simple, tampoco en una base lógica simple (nociones claras y distintas, realidad no ambivalente, no contradictoria, estrictamente determinada) que pueda constituir el sustrato físico. De allí una consecuencia capital: lo simple (las categorías de la Física clásica que constituyen el modelo de toda ciencia) no son más el fundamento de todas las cosas, sino un pasaje, un momento entre dos complejidades, la complejidad micro-física y la complejidad macro-cosmo-física.

En este re-pensar la dicotomía, la separación, el análisis, para ir hacia un “tejido conjunto”, hay diferentes aspectos que inciden y que se particularizan aquí desde la Biología:

*a) La teoría de Sistemas*

La Teoría de Sistemas es un campo muy amplio, casi universal, porque en un sentido toda realidad conocida, desde el átomo hasta la galaxia, pasando por la molécula, la célula, el organismo y la sociedad, puede ser concebida como sistema, es decir, como asociación combinatoria de elementos diferentes.

Así, son rasgos de la virtud sistémica:



a) haber puesto en el centro de la teoría, con la noción de sistema, no una unidad elemental discreta, sino una unidad compleja, un «todo» que no se reduce a la «suma» de sus partes constitutivas; b) haber concebido la noción de sistema, no como una noción «real», ni como una noción puramente formal, sino como una noción ambigua o fantasma;

c) situarse en un nivel transdisciplinario que permite concebir, al mismo tiempo, tanto la unidad como la diferenciación de las ciencias, no solamente según la naturaleza material de su objeto, sino también según los tipos y las complejidades de los fenómenos de asociación/organización.

En particular, la idea de sistema abierto es, originalmente una noción termodinámica, que se opone a la de sistema cerrado (sin fuente energética material exterior a sí mismo). Los sistemas vivos, como sistemas cuya existencia y estructura dependen de una alimentación exterior y, en el caso de los sistemas vivos, no solamente material-energética, sino también organizacional-informacional.

El desequilibrio nutricional permite al sistema mantenerse en aparente equilibrio, es decir, en estado de estabilidad y de continuidad, un equilibrio aparente. Ese estado tiene algo de paradójico: las estructuras se mantienen mientras los constituyentes cambian; y así es que

tenemos los organismos, donde las moléculas y las células se renuevan, mientras que el conjunto permanece aparentemente estable y estacionario.

Dos consecuencias capitales se desprenden, de la idea de sistema abierto: la primera es que las leyes de organización de lo viviente son de equilibrio, retomado o compensado, de dinamismo estabilizado. La segunda consecuencia, es que el sistema debe encontrarse no solamente en el sistema mismo, sino también en su relación con el ambiente, y esa relación no es una simple dependencia, sino que es constitutiva del sistema.



Tenga en mente un sistema biológico y piense en sus “alimentaciones”

A partir de esta consideración, la realidad está, de allí en más, tanto en el vínculo como en la distinción entre el sistema abierto y su ambiente. Ese vínculo es absolutamente crucial desde el punto de vista epistemológico, metodológico, teórico, empírico. Lógicamente, el sistema no puede ser comprendido más que incluyendo en sí al ambiente, que le es a la vez íntimo y extraño y es parte de sí mismo siendo, al mismo tiempo, exterior.

Metodológicamente se vuelve difícil estudiar sistemas abiertos como entidades radicalmente aislables. Teórica y empíricamente, el concepto de sistema abierto abre la puerta a una teoría de la evolución, que no puede provenir más que de interacciones entre sistema y eco-sistema y que, en sus lazos organizacionales más notables, puede ser concebido como un desborde del sistema en un meta-sistema. La puerta está, de allí en más, abierta hacia una Teoría de Sistemas auto-eco-organizadores, por cierto abiertos ellos mismos (porque lejos de escapar a la apertura, la evolución hacia la complejidad la acrecienta), es decir, de sistemas vivientes.

#### *b) La teoría de la información*

Es necesario considerar la información no como un ingrediente, sino como una teoría que llama a un análisis preliminar autónomo. La información es una noción nuclear pero problemática. De allí, toda su ambigüedad: no podemos decir casi nada acerca de ella, pero tampoco podemos prescindir de ella.

Se puede pensar desde la extrapolación heurística de la teoría de la información al dominio biológico. Al establecerse que la autorreproducción de la célula (o del organismo) podía ser concebida a partir de una duplicación de un material genético o ADN, desde que se concibió que el ADN constituía una suerte de doble hélice cuyos escalones estaban formados por cuasi-signos químicos cuyo conjunto podía constituir un cuasi-mensaje hereditario, la reproducción podía entonces ser concebida como la copia de un mensaje, es decir, una emisión-recepción incorporable al cuadro de la Teoría de la Comunicación: uno podía asimilar cada uno de los elementos químicos a unidades discretas desprovistas de sentido

(como los fonemas o las letras del alfabeto), combinándose en unidades complejas dotadas de sentido (como las palabras).

Más aún, la mutación genética fue asimilada a un «ruido» perturbador de la emisión del mensaje, y provocador de un «error» (al menos con respecto al lenguaje originario) en la constitución del nuevo mensaje. El mismo esquema informacional podía ser aplicado al funcionamiento mismo de la célula, donde el ADN constituye una suerte de «programa» que orienta y gobierna las actividades metabólicas. Así también una teoría de origen comunicacional era aplicada a una realidad de tipo organizacional, donde la información se ha de considerar ya sea como memoria, ya sea como mensaje, ya sea como programa, o más bien como todo eso a la vez.



Siga con un sistema biológico en mente (el anterior u otro) y piense en los posibles y diferentes flujos de información.

### c) La teoría de la Organización

La Biología moderna, de manera correlativa, ha pasado del organicismo al organizacionismo. El organicismo es un concepto sincrético, histórico, que concibe al organismo como totalidad armoniosamente organizada. Partiendo del organismo, el organicismo hace de él un modelo ya sea de macrocosmos (concepción organicista del universo) o de sociedad humana; así es que toda una corriente sociológica, en el siglo último, quiso ver en la sociedad una analogía del organismo animal, investigando minuciosamente las equivalencias entre vida biológica y vida social.

En cambio, el organizacionismo se esfuerza por encontrar los principios de organización comunes, los principios de evolución de esos principios, los caracteres de su diversificación.

Pero si uno decide complementar la noción de organización con la de organismo, si la primera no es estrictamente reduccionista, analítica, mecanística, si la segunda no es solamente totalidad portadora de un misterio vital inexpresable, es posible aproximarse un poco más al problema de lo viviente, es decir la auto-organización. Ella está más allá de las posibilidades actuales de aprehensión desde los aspectos que se vienen referenciando.

Los componentes de lo viviente son muy poco confiables: son moléculas que se degradan muy rápidamente, y todos los órganos están, evidentemente, constituidos por esas moléculas; al mismo tiempo, vemos que en un organismo las moléculas, como las células, mueren y se renuevan, a tal punto que un organismo permanece idéntico a sí mismo aunque todos sus constituyentes se hayan renovado. Hay, por lo tanto, opuestamente al caso de la máquina artificial, gran confiabilidad del conjunto y débil confiabilidad de los constituyentes.

Pero, al mismo tiempo que el sistema auto-organizador se desprende del ambiente y se distingue de él, y de allí su autonomía y su individualidad, se liga tanto más a ese ambiente al

incrementar la apertura y el intercambio que acompañan a todo progreso de la complejidad: es auto-eco-organizador.



Siga con un sistema biológico en mente (el anterior u otro) y piense de él su organización.

Entonces, en la complejidad puede reconocerse un fenómeno cuantitativo, una cantidad extrema de interacciones e interferencias entre un número muy grande de unidades. De hecho, todo sistema auto-organizador (viviente), hasta el más simple, combina un número muy grande de unidades, del orden del billón, ya sean moléculas en una célula, células en un organismo (más de diez billones de células en el cerebro humano, más de treinta billones en el organismo).

Pero a la vez, la complejidad no comprende solamente cantidades -de unidades e interacciones- que desafían nuestras posibilidades de cálculo; comprende también incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios. En un sentido, la complejidad siempre está relacionada con el azar.



#### Actividad 1:

*Ahora le proponemos que piense en un sistema biológico en particular: Un paramecio en un charco de agua estancada en la calle (En este blog encontrará información sobre paramecios suficiente para esta actividad: <https://cienciatoday.com/paramecio/>).*

*Basades en la información leída, y pensando desde la teoría de sistemas, organización e información; describa brevemente su organización, posibles flujos de información y relaciones que puede establecer con su medio interno y externo.*

### Re pensar las disciplinas

Recapitulando, con la teoría de la auto-organización y la de la complejidad, tocamos los sustratos comunes a la Biología y a la Antropología, al margen de todo biologismo y de todo antropologismo. Nos permiten, al mismo tiempo, situar los niveles de complejidad diferentes en que se ubican los seres vivos, incluido el nivel de muy alta complejidad y tal vez de hipercomplejidad propio del fenómeno antropológico.



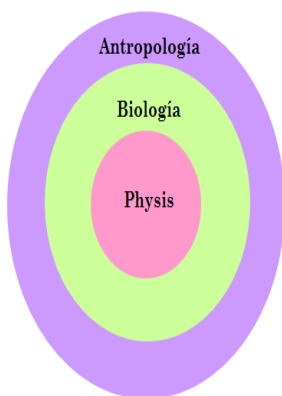
Se revela de este modo la relación entre el universo físico y el universo biológico, y asegura la comunicación entre todas las partes de eso que llamamos “lo real”. Las nociones de Física y de Biología no deben ser reificadas. Las fronteras del mapa no existen en el territorio, sino sobre el territorio, con alambres de púa y aduaneros. Si el concepto de Física se agranda, se complejiza, todo es, entonces, Física. Entonces, la Biología, la Sociología, la Antropología, son ramas particulares de la Física; asimismo, si el concepto de Biología se agranda, se complejiza, todo aquello que es sociológico y antropológico es, entonces, biológico. La Física, así como la Biología, dejan de ser reduccionistas, simplificadoras y se vuelven fundamentales. Esto es casi incomprensible cuando uno está en el paradigma disciplinario en el cual la Física, la Biología, la Antropología, son cosas distintas, separadas, no comunicantes.

Este punto de vista cuenta con el mundo y reconoce al sujeto. Más aún, presenta a uno y otro de manera recíproca e inseparable: el mundo no puede aparecer como tal, es horizonte de un eco-sistema del eco-sistema, horizonte de la physis, no puede aparecer si no es para un sujeto pensante, último desarrollo de la complejidad auto-organizadora.

Pero tal sujeto no ha podido aparecer más que al término de un proceso físico a través del cual se ha desarrollado a través de mil etapas, siempre condicionado por un eco-sistema volviéndose cada vez más rico y vasto, el fenómeno de la auto-organización. El sujeto y el objeto aparecen así como las dos emergencias últimas, inseparables de la relación sistema autoorganizador/ ecosistema.

Ahora bien, se puede entender que la teoría de sistemas y de la información son la primera etapa; la segunda, la teoría de auto-organización, la cual da paso a una tercera etapa, epistemológica: la de las relaciones entre el sujeto y el objeto.

La epistemología tiene necesidad de encontrar un punto de vista que pueda considerar nuestro propio conocimiento como objeto de conocimiento, es decir, una metapunto de vista, como en el caso en que un meta-lenguaje se constituye para considerar al lenguaje devenido objeto. Al mismo tiempo, este meta-punto de vista debe permitir la autoconsideración crítica del conocimiento, enriqueciendo la reflexividad del sujeto cognoscente. En este contexto es que se postula la posibilidad y, al mismo tiempo, la necesidad de una unidad de la ciencia.



Esta unificación carece de sentido, si se pensara de manera reduccionista, reduciendo al nivel más simple de organización los fenómenos de organización compleja; sería insípida si se hiciera efectiva envolviéndose en una generalidad omnipresente.

Sólo tiene sentido si es capaz de aprehender, al mismo tiempo, unidad y diversidad, continuidad y rupturas. Esto puede ser posible en una teoría de la auto-eco-organización, abierta a una teoría general de la physis. Física, Biología, Antropología, dejan de ser entidades cerradas, pero no pierden su identidad. La unidad de la ciencia respeta a la Física, a la Biología, a la Antropología, pero golpea al fisicismo, al biologismo, al antropologismo.

Como siempre, una teoría que se piensa fundamental escapa al campo de las disciplinas, las atraviesa. Incorpora una perspectiva transdisciplinaria. Trata no solamente de reconocer la presencia, sino de integrar, a lo aleatorio, tanto en su carácter de imprevisibilidad, como en su carácter de evento. Reconocer aquello que ha quedado siempre silenciado, en las teorías de la evolución: la inventiva y la creatividad.

En ese sentido, la metodología científica era reduccionista y cuantitativa. Reduccionista, porque hacía falta llegar a unidades elementales incapaces de ser descompuestas, que eran las únicas capaces de ser englobadas en forma clara y distinta; cuantitativa, porque esas unidades discretas podían servir de base a todas las computaciones. La lógica de Occidente era una lógica homeostática, destinada a mantener el equilibrio del discurso mediante la expulsión de la contradicción y del error; ella controlaba o guiaba todos los desarrollos del pensamiento, pero ella misma se presentaba ante la evidencia como no desarrollable.

Lo complejo apunta más a una comprensión que a una disciplina o teoría, de una forma para abordar la realidad evidenciando la unidad compleja, unitas multiplex, entre la subjetividad y objetividad, entre “lo vivo del sujeto” y lo “vivo del objeto, en un proceso dialógico en el cual la subjetividad del investigador se infiltra en la objetividad del objeto investigado y como, a su vez, el objeto investigado afecta a la subjetividad del investigador.



Recuerda que puedes profundizar leyendo el texto “Introducción al pensamiento complejo” de Morín, disponible en pdf con los materiales de esta clase.

### ¿Cómo trabajar con esta complejidad? Primeros pasos\*

Como hemos venido viendo en este cuatrimestre, las ciencias naturales nacieron en esos primeros intentos de los seres humanos para describir el mundo donde vivían y de proveerse explicaciones para entender ese mundo, poder predecir eventos y sobrevivir mejor en él. Esas descripciones, no están libres de prejuicios como quiso suponer el inductivismo, sin embargo todavía hay quienes siguen pensando que a partir de la observación inicia “el método” de “la” ciencia, dando cuenta de la vigencia de la concepción heredada.

Una buena descripción del mundo ha servido, y aun hoy sirve, para explicar los acontecimientos que ocurren en el mundo, para ordenar de alguna manera el aluvión de datos e información que la naturaleza nos brinda cuando entramos en interacción con ella, para anticipar la reacción de algunos sistemas naturales a una manipulación, para anticipar o predecir los fenómenos naturales incluso sólo a partir de detectar algunos indicadores, para modificar el ambiente de manera de conseguir los objetivos que hombres y mujeres se propongan. En síntesis, las descripciones de la naturaleza parecen cumplir con las necesidades de explicación, predicción y manipulación que el *homo sapiens sapiens* viene poniendo en evidencia

(\*) Recortes tomados del libro de FLICKMAN, E., MIGUEL, H., PARUELO, J., & PISSINIS, G. (1998). Las raíces y los frutos temas de filosofía de la ciencia. EUDEBA, Buenos Aires.

desde que moldeó piedras, utilizó estrategias de caza e inventó el fuego.

Cuando estas descripciones del mundo se apartan suficientemente de las creencias mitológicas y mágicas comienzan a convertirse en lo que hoy llamamos “teorías científicas”.

Las teorías en ciencias naturales describen alguna parte de la naturaleza que ha interesado a la humanidad. A la vez funcionan como una herramienta que nos permite predecir la ocurrencia de acontecimientos del tipo de los que se ocupa la teoría y manipular las condiciones para evitar, provocar o modificar esos acontecimientos.

La obtención de teorías ha sido una de las creaciones culturales a la que la humanidad le ha dado mucha importancia y lo que nos preguntamos ahora es si existe algún método para la obtención de tales productos culturales.

Durante algún tiempo se ha sostenido que existe algo llamado “el método científico”. Este supuesto método sería una colección de reglas que indicarían de qué modo se debe actuar para obtener datos, formular hipótesis y comprobar si tales hipótesis son correctas.

Si bien hay quienes intentaron encontrar una especie de “receta”, unívoca y certera para el trabajo en ciencias, con el paso del tiempo y la apertura a diferentes objetos de estudio con particularidades altamente específicas

hay quienes han sugerido que la investigación en ciencias naturales tiene una dinámica que se parece más a una actividad creativa dentro de ciertos límites impuestos por los datos disponibles, que a una actividad clasificatoria y metódica que paso a paso nos lleva a la verdad.

Los datos disponibles efectivamente fijan un límite a las conjeturas teóricas que los explican pero ese límite todavía deja una gran libertad para las propuestas explicativas. Para una misma colección de datos habrá múltiples explicaciones satisfactorias y será necesario poner a prueba esos modelos explicativos para ver cuál de ellos es capaz de predecir mejor los acontecimientos todavía no observados. Aun así en el mejor de los casos tendremos una descripción que ha sido exitosa en las predicciones y satisfactoria en la manera en que ha logrado articular los datos, y sin embargo los casos por estudiar en el futuro pueden llegar a ponerla en algún aprieto.

Por otra parte, cuando nos referimos a los datos disponibles hemos hecho un recorte, una selección del sistema a estudiar o el sector de la naturaleza en estudio. Esta selección de qué cosas vamos a estudiar y cuáles aspectos constituyen el objeto de estudio será nuestro ámbito de interés y ésta ya es una limitación impuesta por nosotros como investi-



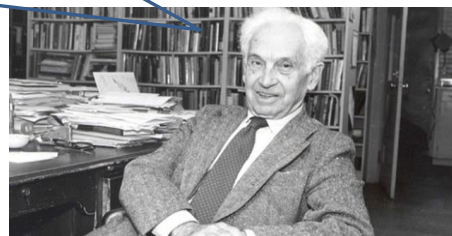
gadores y no por la naturaleza misma. La elección de cuáles aspectos serán tenidos en cuenta en la descripción y que por lo tanto deben registrarse como datos relevantes a la investigación es una decisión humana y no parece estar impuesta por la naturaleza de lo que estamos estudiando.

Mencionemos también que en las explicaciones que nos parecen satisfactorias suelen mencionarse conceptos y términos que escapan a nuestra percepción directa. Solemos explicar que los planetas se mantienen ligados al Sol debido a una “atracción gravitatoria”; que los rasgos que observamos en los organismos provienen de una “información genética”; o que nuestros cuerpos siguen andando hacia adelante cuando el colectivo frena porque poseen cierta “inercia”. Así las descripciones suelen referirse a cosas que no se detectan de manera directa o incluso que no se detectan de ninguna manera y sin embargo juegan un rol importante en la explicación y la comprensión que logramos de esos fenómenos.

Como hemos visto, las comunidades científicas trabajan con cierta pluralidad metodológica. En Biología, además de metodologías experimentales (en Biología funcional por ejemplo) desde los trabajos de Darwin y para dar cuenta de la Biología Evolutiva que se pregunta **¿Por qué?**, se han requerido otras metodologías:

#### EL MÉTODO DE DARWIN

Darwin era primero y sobre todo un naturalista. Su método favorito era también el del naturalista: hacia una serie de observaciones y desarrollaba conjeturas fundándose en ellas. Consideraba que este enfoque era el método inductivo y consignó en su autobiografía que se tenía por fiel seguidor de Bacon. No obstante, algunos estudiosos de su obra – Ghiselin (1969) por ejemplo – pensaron que este método era mejor descrito como hipotético deductivo. En realidad, tal vez se esté más cerca de la verdad diciendo que Darwin era un pragmático que empleaba cualquier método que le redituara los mejores resultados. Era un observador penetrante, y no caben dudas de que la observación constituía su enfoque más productivo. Sin embargo, también era un hábil experimentador, y, en especial en sus investigaciones botánicas, llevó a cabo numerosos experimentos. Como ocurre con todos los naturalistas, el método que empleó quizá con mayor frecuencia fue el comparativo.



No es necesario caer en los extremos pues **NO** se trata de desterrar el método experimental, sino recordar sus limitaciones y evitar aplicaciones simplistas y reduccionistas. Hay problemas de investigación en Biología que siguen aplicando el método experimental con mucho éxito. Lo que no significa que haya otros métodos.

Habiendo transcurrido dos décadas del siglo XXI, la discusión pasa por reflexionar sobre el lugar que tienen las ciencias y sus métodos, recordando que no se puede afirmar que el conocimiento científico es superior a otras formas de conocimiento, es distinto y se caracteriza por haber sido construido a través de unas metodologías en las que podemos advertir ciertas recurrencias: son las teorías y modelos la fuente de preguntas y nuevos problemas, las respuestas requieren, en algunos casos, de diseños experimentales o matemáticos, o estadísticos, etc. que permitan dar cuenta, entre otros. Para construir nuevos conocimientos, provisorios, históricamente situados, atravesados por el contexto social, económico y político.

### Metodología experimental

Procurar una visión de ciencias que supere la imagen ahistórica y descontextualizada, que es objeto de discusión en Filosofía de las Ciencias, Epistemología, Sociología, Antropología, etc., no significa que, al realizar un experimento, no haya que ser rigurosos y respetar ciertas pautas que garanticen la validez interna y externa.

Recomendaciones básicas y sugerencias moderadas de cómo comenzar a estudiar los fenómenos naturales, han sobrevivido y constituyen hoy en día parte sustancial de la capacitación de los investigadores.

En general, estos aspectos constan de:

- a) Revisión de la literatura
- b) Planteamiento del problema
- c) Establecimiento de hipótesis
- d) Definición de variables
- e) Determinación del diseño de investigación que incluya la definición de la población (objetos de estudio, localización, rasgos), muestra, réplicas que se considere realizar. Asimismo la selección de la metodología, técnicas, instrumentos y procedimientos que se emplearán, la forma en que se tomarán los datos y cómo se procederá a su análisis.

El **planteamiento del problema** de investigación, se refiere precisamente a su especificación y delimitación. En general se pide que reúna ciertas características, por ejemplo referirse a cuestiones resolubles, solucionables, queriendo expresar con esto que puedan ser abordados en la práctica, estando clara y precisamente definido. Para poder

visibilizar esto es importante proyectar el trabajo para conocer las posibilidades que se tienen de llevar a cabo la investigación y determinar cuáles serían los posibles obstáculos a enfrentar, para preverlos. En este planeamiento, se han de considerarse:

Como paso inicial (que luego se reiterará en el transcurso del trabajo) se tiene que **revisar la literatura** para conocer, profundizar y ampliar, las perspectivas con respecto al problema que se abordará; además que esta información constituirán no sólo los antecedentes teóricos y empíricos del estudio a realizar sino también los que contribuirán a explicar los resultados que se obtengan.

La definición tradicional plantea que una **hipótesis** es la posible respuesta a una pregunta. En este caso, la pregunta estaría constituida por el problema de investigación, que en general se formula como proposición acerca de la relación entre dos o más fenómenos o variables. Se refiere a una situación real y en el transcurso de la investigación será puesta a prueba.

El trabajo con un diseño experimental, implica la manipulación de **variables** (por parte de quien investiga), o sea aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio, pudiendo tomar diferentes valores. Por ejemplo, la variable “color de ojos” expresa los colores que puede asumir: azul, marrón, negro, etc. (son sus valores).

Las variables tienen que ser:

- Comprensibles, precisas y lo más concretas posibles.
- Observables y medibles.
- La relación propuesta entre las variables debe ser clara y verosímil.
- Relacionadas con técnicas disponibles para ponerlas a prueba.

Así, una primera caracterización, las distingue en variables cuantitativas o cualitativas. Por ejemplo:

Cuantitativas	Cualitativas
Cantidad de dedos	Tejido componente principal
Porcentaje de cobertura	Tipo de hoja

Es importante considerar la escala en la que se miden las variables, luego se verá la forma en la cual las variables se encuentran relacionadas. Esto implica que las variables pueden también clasificarse en independientes y dependientes. Las variables independientes son aquellas cuyo valor no depende de ninguna otra, se fija libre y previamente, o es controlada para estudiar sus efectos en la variable dependiente. O sea, pueden ser dispuestas por quien

realiza la investigación para generar una situación en la que las variables dependientes se vean afectadas o no.

Las variables dependientes, poseen un valor supeditado, que “depende” del valor que tenga asignada la variable independiente. Supongamos que un experimento implica la manipulación de una sola *variable independiente*. Cada vez que la variable independiente cambie (aumente o disminuya) esto afectará a la *variable dependiente* (también aumentará o disminuirá).

Es muy estrecha la relación entre el planteo del problema, la revisión de la literatura, el planteo de hipótesis y los objetivos. Tienen que ser coherentes.

Por otra parte, recordemos las nociones de validez interna y externa, abordadas anteriormente en la materia. Se denomina VALIDEZ INTERNA a la certeza por parte del investigador, de que la modificación de la variable dependiente se debe a los cambios que sufrió la variable independiente y no a otros factores. Esto hace necesario que otras variables sean controladas, por ejemplo la temperatura ambiente, si durante el experimento, en el laboratorio ocurren variaciones de temperatura, cómo sabremos si el resultado del experimento no se vio alterado.

La VALIDEZ EXTERNA se refiere a que el experimento que realizamos pueda ser replicado por otro grupo de investigación, en cualquier otro lugar y que, si procedieron de la misma manera, es decir controlaron las variables, sólo manipularon la variable independiente, los resultados que obtengan deben ser los mismos. Si no hay replicabilidad del experimento, por que los resultados son diferentes, alguien cometió un error o mintió. Los fraudes suelen ocurrir con más frecuencia de la que imaginamos, es por eso que la comunicación del conocimiento científico adopta una forma determinada.



**Actividad 2:** Considera la siguiente situación:

*En la Escuela de Biología de la UNC, hay un grupo interesado en los líquenes como bioindicadores de contaminación ambiental. A continuación, compartimos un extracto de uno de sus trabajos de investigación.*

*De acuerdo a la información planteada en el extracto:*

- a) Plantee y escriba una hipótesis.*
- b) Identifique de acuerdo a ella variable/s dependiente/s e independiente/s*



*Extracto \**

Los líquenes son los bioindicadores de contaminación atmosférica más ampliamente utilizados, ya que por su dependencia de la atmósfera para el suministro de nutrientes reflejan la presencia de gases, elementos disueltos o particulados y otros compuestos (Garty *et al.* 1998, Conti y Cechetti 2001, Nimis y Purvis 2002, Bergamaschi *et al.* 2007, Basile *et al.* 2008). Sin embargo, las distintas especies exhiben diferente sensibilidad a contaminantes atmosféricos (Nash y Sigal 1980, González *et al.* 2003), siendo algunas excelentes indicadoras de la calidad del aire y por ello, señaladas como biomonitores ideales en regiones urbanas e industriales (Ahmadjian 1993, Gries 1996, Garty 2002, Haswksworth 2002, González *et al.* 2003, Carreras *et al.* 2005).

El efecto de la polución atmosférica sobre líquenes ha sido evaluado midiendo, como respuestas o cambios, diferentes parámetros químico-fisiológicos y acumulación elemental (Brodo 1961, Richardson y Nieboer 1983, Kauppi y Halonen 1992, González y Pignata 1994, Garty *et al.* 1998, Carreras *et al.* 2005, Rodríguez *et al.* 2007). En atmósferas de ambientes urbanos y urbano industriales se detectan numerosos contaminantes emitidos directamente a la atmósfera o resultantes de reacciones entre ellos (Seinfeld y Pandis 1997). Sin embargo, la contaminación de aguas, sedimentos y suelos repercute irremediablemente en la contaminación del aire, no sólo por la presencia de metales pesados, sino también debido a que existen las condiciones para que se produzcan complejas reacciones que aportan contaminantes gaseosos a la atmósfera.

En la provincia de Córdoba (Argentina), estudios de biomonitorio con especies líquénicas han demostrado que existen importantes fuentes de emisión de contaminantes que están empobreciendo paulatinamente su calidad atmosférica (González y Pignata 1997, 2000, Cañas *et al.* 1997, González *et al.* 2003, Carreras y Pignata 2002, Carreras *et al.* 2005, Pignata *et al.* 2007, Rodríguez *et al.* 2007).

Particularmente la ciudad de Córdoba es considerada una de las más contaminadas del país (Klumpp *et al.* 2000). Además de las fuentes presentes dentro de la ciudad, en los alrededores existen numerosas industrias y actividades agrícolas que producen desechos de variada composición, muchos de ellos tóxicos y peligrosos. Actualmente algunos, son vertidos al río, directamente o a través de desagües cloacales y pluviales o por escurrimiento e infiltración subterránea, provocando la contaminación de éste y de sus zonas de influencia. Por otro lado, las cloacas de la ciudad de Córdoba reciben algunos efluentes industriales, los que alcanzan en parte las aguas superficiales (CEAMSE 1993). Este manejo no sólo produce deterioro en suelos y aguas, sino que genera condiciones para un potencial impacto sobre la calidad del aire a nivel local. En relación a la calidad del agua del río Suquía, Pesce y Wunderlin (2000) mencionan un deterioro de la misma en el área correspondiente a la ciudad de Córdoba y en las cercanías de la planta de tratamiento de efluentes domiciliarios Bajo Grande, localizada aguas abajo de la ciudad de Córdoba.

La capacidad biomonitora del liquen *Usnea amblyoclada* ha sido extensamente evaluada en relación a contaminantes urbanos e industriales (Carreras *et al.* 1998, 2005, Carreras y Pignata 2001, 2002), no así con relación a los compuestos presentes en cursos de agua y su potencial aporte a la atmósfera. Por ello, el objetivo del presente estudio es establecer la calidad del aire en una sección de la cuenca del río Suquía, mediante el biomonitor *Usnea amblyoclada* durante el período invernal (estiaje).

\* Gonzalez, C. M., Lingua, M., & Gudiño, G. L. (2012). Evaluación de la calidad atmosférica sobre una sección de la cuenca del río Suquía (Córdoba, Argentina) mediante el empleo del biomonitor *Usnea amblyoclada*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(4), 311-322.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992012000400007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992012000400007&script=sci_arttext)

A continuación, les proponemos revisar unos extractos o resúmenes de trabajos de investigación en algunas de las diferentes áreas de la Biología que trabajamos en la clase de Mayr, I parte.

**Biología celular**

*Estudio de la respuesta de los astrocitos al Status Epilepticus en un modelo in vitro*

*Silva, Gabriela Vanina*

Resumen: Los astrocitos constituyen una población abundante y heterogénea de células gliales, que participan en una gran variedad de funciones complejas y esenciales. Cuando los astrocitos reaccionan ante una lesión o patología se producen cambios, entre los cuales se destacan el aumento en la expresión de la proteína GFAP, la proliferación y la liberación de numerosos mediadores entre los cuales se incluye a neurotrofina BDNF. La astrogliosis es una característica distintiva de la epilepsia y del status epilepticus (SE) y los cambios que ocurren en estas células pueden predisponer y/o facilitar la muerte neuronal. Si bien, esto sugiere que los astrocitos reactivos promueven la excitotoxicidad existen numerosas evidencias que demuestran que estas células tienen un rol neuroprotector luego del SE. El objetivo de este trabajo es evaluar los parámetros principales que caracterizan a la gliosis reactiva y la viabilidad celular luego de someter a astrocitos obtenidos de diferentes áreas cerebrales a un SE in vitro. Por ello se evaluó la supervivencia, expresión de GFAP, proliferación y expresión de BDNF de astrocitos en cultivo obtenidos de corteza cerebral (CX), cuerpo estriado (ST) e hipocampo (Hipo) luego de someterlos a SE. Nuestros resultados demuestran que la sobrevivencia de los astrocitos se ve afectada de igual manera en todas las áreas, mientras que la expresión de GFAP se vio incrementada en CX y ST, pero no en HIPO. En cuanto a la proliferación, se observó que la tasa de proliferación varía entre astrocitos de diferentes áreas del cerebro pero no cambia luego del SE y tampoco se altera la expresión de BDNF y su receptor TrkB. En suma, nuestros resultados junto con estudios previos de nuestro laboratorio indican que el SE in vitro inducido con el buffer libre de  $Mg^{2+}$  tiene un impacto moderado sobre los astrocitos, y que la activación de estas células dependería de la presencia de neuronas hiperactivadas.

Tesina completa en <http://hdl.handle.net/11086/14986>

**Ecología**

*El impacto de la introducción de Salmónidos sobre los anfibios de los pastizales de altura de Sierras Grandes (Córdoba, Argentina).*

*Miloch, Daniela*

Resumen: Entre los diversos y complejos factores que afectan negativamente a los anfibios a nivel global, uno de los principales es la introducción de especies exóticas. *Onchorhynchus mykiss* y *Salvelinus fontinalis* son peces predadores con gran potencial invasivo que se introdujeron hace casi un siglo en ríos y arroyos de las Sierras Pampeanas Centrales (SPC), Argentina. El objetivo de este trabajo es comparar los requerimientos de hábitat de las truchas con los de cuatro especies de anfibios (*Rhinella arenarum*, *Rhinella achalensis*, *Hypsiboas cordobae* y *Odontophrynus achalensis*) que utilizan arroyos de los pastizales de altura de las SPC y evaluar el impacto de cada especie de predador sobre la ocurrencia y

abundancia de estas especies. Se realizaron 126 transectas en ríos y arroyos de los pastizales de altura de las SPC en las que se registró ocurrencia y abundancia de peces y anfibios así como también variables de hábitat. Los requerimientos de hábitat para cada especie fueron caracterizados y comparados mediante métodos multivariados. Para evaluar si los peces introducidos condicionaron la ocurrencia y abundancia de anfibios, se utilizaron Modelos Lineales Generalizados (MLG). Los resultados indican que tanto las truchas como los anfibios del sistema tienen requerimientos de hábitat similares, sin embargo la distribución de dos especies endémicas del sistema (*Hypsiboas cordobae* y *Odontophrynus achalensis*) está condicionada por la invasión de peces exóticos. El presente trabajo, aporta evidencia sobre el impacto negativo que generan los salmónidos introducidos sobre dos especies endémicas de las SPC. Esta información podría resultar relevante para considerar el manejo de las poblaciones de salmónidos con fines de conservación para especies de anfibios endémicas y vulnerables.

<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5470>

### Biogeografía

*Agrobiodiversidad en huertas y jardines de pobladores de diferente tradición cultural, en zonas de influencia de Mar Chiquita y Sierras Chicas de Córdoba.*

*Carolina Audisio*

Resumen: Las modificaciones realizadas sobre el paisaje natural pueden ser estudiadas y comprendidas desde un abordaje etnoecológico, los huertos familiares representan un patrimonio de primer orden con conocimiento tradicional transmitido de generación en generación. Los huertos y jardines son espacios complejos donde convergen numerosos elementos culturales, ecológicos, sociales y económicos. Su abordaje constituye un área de estudio de interés debido a que contribuyen a la preservación de la diversidad cultural, tan rica en nuestro país, y a la conservación de la agrobiodiversidad. De este modo, proponemos que la tradición cultural de un poblador define la composición de su huerta y jardín, por ello los ambientes domésticos de los “gringos” serán diferentes de los de los “criollos”. A partir de las 28 entrevistas semiestructuradas y relevamientos botánicos de los huertos realizados, se registraron 273 especies Nativas y Cultivadas para cubrir la necesidad de 12 usos diferentes con prácticas, estructuras y tamaños de los huertos y jardines, definidos por su tradición cultural. Los “criollos” mencionan 118sp. exclusivas, más usos y más frecuencia de uso por especie, siendo el más frecuente el medicinal. Respecto a las prácticas, no riegan ni cercan el huerto generando un espacio pequeño, compartido con el jardín. En cambio los “gringos” mencionan 59sp. exclusivas, fundamentalmente alimenticias y ornamentales y mantienen espacios mayores de cultivo, bien cercados y regados. En el área de Sierras Chicas, la cercanía al bosque podría ser un factor que explica la gran cantidad de nativas mencionadas sin importar la tradición cultural. La composición florística, la función social y la estructura de las huertas y jardines, están claramente definidos por el origen cultural de las personas que

los construyen y mantienen. Además son espacios dinámicos, que reflejan la vida cotidiana del propietario, y son espacios de interés para la conservación de especies, conocimientos y prácticas.

<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5417>

Para leer trabajos finales de la carrera puedes explorar:

<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/810>

## Biología Evolutiva

### *El Método Comparativo en Biología Evolutiva*

José A. Díaz

#### **Fragmento**

La comparación entre especies (o taxones de orden superior) es una de las herramientas metodológicas más ampliamente utilizadas en todos los ámbitos de la biología evolutiva, incluyendo aspectos tan variados como el estudio de los ciclos vitales ("life histories") la abundancia y distribución de los organismos, la ecofisiología o la ecología de la conducta. En particular, las comparaciones interespecíficas permiten comprender cómo la herencia ancestral (inercia filogenética) y la selección natural (adaptación), es decir, los dos grandes temas de la biología evolutiva desde Darwin en adelante han ido moldeando los rasgos que observamos en las especies actuales. Además, los estudios comparativos revelan con frecuencia regularidades sorprendentes en los datos que sirven de punto de partida para nuevas preguntas: ¿a qué se debe que los tiempos de generación de una amplia variedad de organismos, desde bacterias hasta secuoyas, se ajusten con precisión a una función lineal del tamaño corporal en escala bilogarítmica? ¿por qué la energía extraída de sus respectivos ecosistemas por un rango de especies que abarca desde protozoos a ballenas es más o menos constante, según se deduce de la relación inversa entre tamaño corporal y máxima densidad de población? Incluso algunas de las características biológicas más llamativas de nuestra propia especie (como el grado de encefalización superior al de cualquier otro mamífero).

Una razón fundamental por la que el método comparativo es tan importante en biología evolutiva es que ésta, como la astronomía o la geología, es una ciencia histórica. Esto hace que el estudio de los procesos evolutivos (adaptación, coevolución, etc.) y, sobre todo, del curso de la evolución, raramente pueda abordarse mediante técnicas experimentales en sentido estricto o popperiano.

Aunque si comparamos búhos navales con cárabos u osos polares con osos pardos, podemos conjeturar que la selección natural en contra de los individuos más conspicuos es



la responsable de las diferencias en el color del plumaje o el pelo, físicamente es imposible reconstruir en el laboratorio los procesos que han producido osos polares o búhos nivales a partir de sus ancestros pardos o grises. Afortunadamente, sin embargo, la evolución ha producido gran cantidad de “experimentos naturales” bajo la forma de especies que difieren en las presiones selectivas que deben afrontar, lo que hace que las comparaciones interespecíficas puedan utilizarse con provecho para entender cómo funciona la selección natural y qué adaptaciones produce.

Sin embargo, desde los años 80 está teniendo lugar una profunda revisión del método comparativo relacionada con el hecho de que las distintas especies forman parte de una escala jerárquica de relaciones de parentesco y no pueden contemplarse como datos independientes extraídos de una misma distribución, lo que da lugar a un serio problema a la hora de analizar tales datos y, a la vez, abre para los estudios comparativos nuevas y excitantes perspectivas, al situarlos en un contexto evolutivo explícito. El objetivo de esta revisión es plantear con claridad dicho problema y presentar algunas de las técnicas de análisis que permiten resolverlo, para concluir con una valoración crítica de los actuales desarrollos del método comparativo.

Obviamente, las relaciones de parentesco entre los taxones hacen que algunos de ellos compartan menos historia común, y sean por tanto más independientes entre sí, que otros están más emparentados, comparten más historia común y son menos independientes.

¿Por qué la falta de independencia constituye un problema analítico? Un requisito elemental de un estudio bien diseñado es que las unidades muestrales sean independientes unas de otras, es decir, que no formen subconjuntos definidos por la compartición de historias semejantes, ambientes parecidos o iguales características de muestreo. Si no se respeta este requisito, se comete **pseudorreplicación**, que es, de hecho, uno de los problemas de diseño más graves, frecuentes y conceptualmente importantes en biología de organismos.

La pseudorreplicación es equívoca porque implica confusión de variables: sexo con individuo en el ejemplo propuesto, lo que introduce un serio riesgo de cometer error estadístico de tipo I (atribuir al sexo efectos que en realidad no tienen).

El punto de partida para los actuales desarrollos del método comparativo es que las relaciones de parentesco entre las especies (o taxones de orden superior) introducen exactamente el mismo problema de no independencia que se plantea en el caso del dimorfismo sexual.

[https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-33471/2001\\_Etologia\\_19\\_37.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-33471/2001_Etologia_19_37.pdf)



### Actividad 3:

*De acuerdo a los resúmenes de tesis leídas, reflexione sobre las metodologías que se emplean en los estudios biológicos:*

- a) ¿Tiene sentido pensar en una única metodología en Biología?*
- b) ¿Por qué el método experimental es insuficiente para la biología evolutiva?*

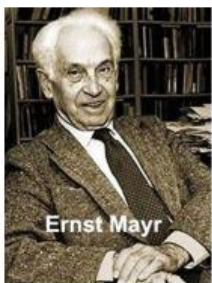
*Escriba y fundamente sus reflexiones a estos aspectos en un párrafo.*

Hasta aquí hemos tratado de abrir un poco el juego y dar cuenta de la complejidad metodológica en Biología. Hemos omitido muchos métodos ya que eso se abordará en más detalle a lo largo de la carrera.

Por lo que será importante que en cada materia puedan reconocer cuál o cuáles son las metodologías más adecuadas en cada caso.

### Mayr y Morin: La Complejidad para entender la Biología

¿Va quedando más claro por qué es única la Biología?



¿Se entiende ahora lo que significa un problema complejo, que no puede ser fragmentado en partes para su estudio?



Por consultas comuníquese por mail: [marina.masullo@unc.edu.ar](mailto:marina.masullo@unc.edu.ar) o [lquise@unc.edu.ar](mailto:lquise@unc.edu.ar)

instagram: <https://www.instagram.com/epistemologiafcefyn/>