

# A INTERDISCIPLINARIEDADE NA DIDÁCTICA DAS CIENCIAS FÍSICO - NATURAIS

---

*Marco Antonio Bernal Rivas*  
I.B. Xelmírez I. Santiago de Compostela

## INTRODUCCIÓN

---

A crecente importancia do ensino interdisciplinar provocou o desenvolvemento de múltiples proxectos de Ciencia Integrada. A integración interdisciplinar refírese á interacción que existe entre varias disciplinas, afíns ou non, que vai desde unha simple comunicación de ideas ata unha integración mutua de conceptos, epistemoloxía, terminoloxía, metodoloxía e procedemento.

O obxectivo fundamental da Ciencia Integrada é o logro da comprensión profunda do home, o seu medio físico, biolóxico e da súa interacción. Entre as consecuencias que se derivan deste concepto destácanse:

- O fomento do avance da Ciencia respondendo á demanda social do noso tempo.

- O aumento do carácter humanista e integrador da Ciencia rompendo as barreiras que veñen separando os distintos campos do saber.

- A mellora dos métodos de ensino dinamizándoos e adaptándoos ás necesidades actuais.

- A elaboración de modelos e estruturas unificadoras que poderían levar á creación dunha teoría xeral de sistemas que permita a descrición integral do mundo físico.

O ensino integrado fomenta de forma especial o desenvolvemento de diversas destrezas: capacidade de análise, síntese, mentalidade crítica e creatividade, que son os obxectivos xerais da pedagoxía.

Neste artigo infírese, a partir de diversas leis experimentais de química, bioloxía, ecoloxía e física, un enunciado xeral que as engloba a todas; posteriormente discútense a súa validez e aplicabilidade noutros campos. Proponse utilizar o método de acercamento integrador por busca de elementos comúns.

Así, seleccionáronse en química o principio de Le Châtelier do desprazamento do equilibrio químico; en bioloxía a resposta inmune; e en ecoloxía os equilibrios biolóxicos dos ecosistemas;

en física a terceira lei de Newton ou principio de acción e reacción, as leis de Faraday e Lenz da inducción electromagnética. Posteriormente transfírese o principio unificador aos campos das ciencias humanas e sociais, como á teoría do campo psicolóxico de Kurt Lewin no seu aspecto homeostático.

Preténdese establecer un enunciado integrador que unifique e recolla as analoxías entre as leis experimentais antes citadas; non se trata, polo tanto, de inducir un teorema xeral do comportamento da natureza. Propóñense como obxectivos inmediatos:

- Adquirir ou recordar principios físico-naturais básicos suscitando desde eles novos interrogantes.

- Propoñer un enunciado integrador destes principios que permita xeneralizar as leis básicas facendo unha análise crítica acerca da súa fiabilidade.

- Transferir o enunciado integrador a novos campos do saber contrastándoo con leis preexistentes e xustificar a súa validez así como as súas limitacións.

- Comprender e interpretar os principios científicos xa adquiridos a partir do enunciado integrador.

## LEI DO DESPRAZAMENTO DO EQUILIBRIO QUÍMICO

---

Un sistema químico en equilibrio dinámico é unha mestura de reactivos e produtos con concentración cons-

tante, sendo a velocidade de desaparición dos reactivos para formar produtos a mesma que a velocidade de reaparición dos produtos para recompoñer os reactivos. Se se lle engade a un sistema químico en equilibrio unha determinada cantidade de calor, o sistema tratará de consumir esta calor en todo o que sexa posible e, por conseguinte, quedará favorecida a reacción endotérmica.

Le Châtelier enunciou en 1885 a lei do desprazamento dos equilibrios químicos: "Toda modificación dun dos factores de equilibrio despraza a este no sentido que tende a opoñerse á variación do factor considerado".

A acción ou perturbación é a modificación dalguna das variables de estado: presión, temperatura ou concentración, a reacción ou resposta é a evolución da reacción química cara a unha busca dun novo estado de equilibrio. O sistema químico en equilibrio resiste os intentos de cambiar a súa temperatura, a presión ou a concentración dalgún dos seus compoñentes, desprazándose naquel sentido que faga que eses cambios sexan menores do que serían se non existise o equilibrio.

O principio de Le Châtelier foi reenunciado en múltiples ocasións admitindo unha xeneralización que permitiu a súa aplicación formal a diversos sistemas físico-químicos e biolóxicos.

## O ENUNCIADO INTEGRADOR

---

"Cando sobre un sistema en equilibrio se exerce unha perturbación, é dicir, modifícase un parámetro característico, o sistema evoluciona de modo que, se tal evolución ocorre illadamente sen a presenza da perturbación exterior, o dito parámetro cambiaría na dirección oposta á perturbación inicial".

A evolución na busca dunha nova situación de equilibrio é tal que modera a perturbación, e isto manifesta unha certa tendencia dos sistemas físico-naturais a opoñerse ao cambio.

O principio de Le Châtelier, redefinido co enunciado xeral, adquire unha formulación que permite a súa aplicación a procesos irreversibles cando ocorren co incremento mínimo de entropía. O principio foi enunciado orixinalmente só para estados de equilibrio termostático sen aplicar restricións ao sistema; débese a Prigogine a primeira xeneralización para estados estacionarios cun parámetro ou "forza fixa" nun valor constante, que lle estendeu a súa aplicación a sistemas físico-químicos. Así, o fenómeno da termoelectricidade pódese explicar mediante un modelo de estado estacionario de primeira orde fixando un gradiente de temperatura constante.

Esta xeneralización pode estender a aplicación da teoría dos estados

estacionarios aos sistemas biolóxicos, segundo propoñen Prigogine e Wiame. Os organismos vivos poden ser considerados como sistemas abertos que cando alcanzan o seu grao máximo de desenvolvemento quedan virtualmente nun estado estacionario cunha produción mínima de entropía; en efecto, os organismos vivos experimentan ao longo da súa vida unha diminución do seu metabolismo cara a un mínimo compatible coas restricións determinadas polos arredores.

A forma como se defina o sistema en equilibrio condicionará a validez do principio integrador. En cada caso débese establecer o modelo máis apropiado que caracterice o dito sistema e estudar os límites e a idoneidade da aplicación do principio ao mesmo.

## APLICACIÓN DO ENUNCIADO INTEGRADOR Á ECOLOXÍA E Á BIOLOXÍA

---

É posible establecer un paralelismo nas leis da química, bioloxía e ecoloxía. En efecto, a lei de Le Châtelier aplícase a sistemas químicos e corresponde cun estudio a escala de agrupacións atómico-moleculares; a resposta inmune en bioloxía corresponde cun estudio a nivel de agrupacións celulares; e os equilibrios nos ecosistemas son estudados ao nivel de agrupacións de seres vivos. Non obstante, non se debe tomar un organismo vivo como un conxunto de sistemas químicos en

equilibrio, nin se debe considerar o ecosistema como un organismo universal.

### A resposta inmune

---

Nos seres vivos desenvóléronse unha serie de defensas para loitar contra os microorganismos e outros axentes estraños potencialmente nocivos; un método altamente específico é a resposta inmune.

A teoría da selección clonal establece que cada individuo está dotado dunha ampla variedade de linfocitos xeneticamente capaces de xerar anticorpos contra un antíxeno particular. A combinación dun antíxeno, ou axente patóxeno, cun anticorpo inmoviliza o invasor, e con iso destrúeo ou vólveo máis susceptíbel á fagocitose.

A produción de “células memoria” permite unha resposta inmediata fronte a unha invasión posterior do axente patóxeno, mecanismo que explica a inmunidade alcanzada tras a vacinación. Non obstante, o estado refractario que obtén o individuo a través dun proceso de loita contra un axente microbiano está limitado a determinados axentes, e a resposta é variable segundo o individuo.

A resposta inmune pódese enunciar como unha reacción antíxeno - anticorpo: “Cando un organismo é afectado por un axente estraño ou antíxeno, este xera un elemento defensivo ou

anticorpo que trata de opoñerse á acción nociva do antíxeno”. No sistema en equilibrio do organismo vivo a acción ou perturbación é a actuación dun axente patóxeno, a reacción ou resposta é a creación de anticorpos específicos.

### Equilibrio nos ecosistemas

---

A ecoloxía é a ciencia que estudia os sistemas biolóxicos na que os individuos ou os organismos vivos completos se consideran os elementos de interacción tanto cos outros individuos como co medio ambiente.

Segundo o modelo cibernético, os ecosistemas poden considerarse como un conxunto de elementos relacionados entre si por influencias recíprocas, formando circuítos recorrentes que alcanzan unha estabilidade mediante a retroalimentación negativa. Esta estabilidade nos ecosistemas presenta persistencia no tempo, e isto supón un almacenamento de información tanto maior canto máis estable.

O concepto de estabilidade nos ecosistemas non está restrinxido a estados estacionarios baixo condicións ambientais constantes, senón que pola contra refírese á maior ou menor resistencia que presenta fronte aos cambios de orixe externa. Un exemplo de resistencia aos cambios externos é a utilización de insecticidas: desde hai anos a loita contra moscas, mosquitos e outros insectos realízase con insectici-

das e tense encontrado, ás veces, unha insensibilización aos mesmos pola selección de cepas resistentes que se multiplican con gran rapidez, reconstruíndo mesmo poboacións máis numerosas que as orixinais.

Seguindo o modelo do enunciado integrador pódese afirmar: “cando sobre un ecosistema en equilibrio dinámico se provoca unha alteración dos seus compoñentes ou se modifica algún parámetro esóxeno, o sistema evoluciona buscando outra nova situación de equilibrio que trata de compensar a variación antes citada”. No ecosistema en equilibrio a acción ou perturbación é a variación dalgún dos seus compoñentes, a reacción ou resposta é a evolución cara a un novo estado de equilibrio que trata de compensar a variación do dito compoñente.

O estudio do equilibrio dos ecosistemas posibilitou establecer novas técnicas de loita biolóxica contra especies nocivas para a humanidade, técnicas baseadas en favorecer outra especie do ecosistema chamada axente depredador, que regula de forma natural a poboación das especies nocivas.

## PROXECCIÓN DO ENUNCIADO INTEGRADOR A LEIS DA FÍSICA

### Mecánica

Lei de acción e reacción: “Cando dous corpos ou partículas interaccio-

nan, a forza que o primeiro exerce sobre o segundo é igual en módulo e dirección pero oposta en sentido á forza que o segundo exerce sobre o primeiro”.

Este principio, aínda que preciso, non é exacto, só é válido para forzas newtonianas; coas forzas electromagnéticas que se exercen entre cargas en movemento débense facer novas consideracións.

O sistema mecánico é un conxunto de partículas, a acción ou perturbación é a forza que exerce unha sobre outra, a reacción ou resposta é a forza que exerce a segunda sobre a primeira.

Aínda que a terceira lei de Newton non parece adaptarse moi ben ao enunciado xeral, notarase que é aplicable tanto en equilibrio estático coma en dinámico. A reacción debida á inercia denomínase forza ficticia de D’Alambert e adáptase ao enunciado integrador; en efecto, cando sobre un corpo se exerce unha única forza, este adquire unha aceleración proporcional, segundo expresa a 2ª lei de Newton; se fose posible que en ausencia de forza exterior o corpo tivese espontaneamente esa aceleración, sería necesario que se “apoiase no exterior” exercendo contra el unha forza de sentido oposto ao movemento.

## Electrodinámica

---

Lei de inducción de Faraday: “Cando un circuío eléctrico é atravesado por un fluxo magnético variable, xérase unha forza electromotriz inducida que é proporcional á velocidade coa que cambia o fluxo magnético a través do mesmo, e o sentido da corrente inducida é tal que tende a producir un campo magnético que se opón á variación do fluxo que a orixinou”. O criterio de signos é o que chamamos lei de Lenz.

Esta lei é universal, admite xeneralización e non é necesaria a existencia dun circuío material para o seu cumprimento segundo establece Maxwell nas súas ecuacións.

O sistema en equilibrio é un circuío eléctrico en réxime estacionario, a acción ou perturbación é a variación do fluxo magnético e a reacción ou resposta é a produción dunha forza electromotriz tal que trata de anular a variación exterior.

Á lei de Faraday tamén lle é aplicable o enunciado integrador con algunhas puntualizacións. En efecto, se fixemos pasar a través dun circuío un fluxo magnético variable xerárase unha forza electromotriz inducida; se fose posible ter, en ausencia de variación de fluxo magnético, a mesma forza electromotriz utilizando un xerador axeitado, polo circuío circularía unha

corrente eléctrica, segundo a lei de Ohm, e esta crearía un campo magnético, segundo a lei de Biot e Savart, cunha dirección tal que se opoñería á variación do fluxo magnético primitivo.

Obsérvese que, en última instancia, a resposta é a creación dun campo magnético autoinducido que nalgún caso podería ser constante no tempo, e o estímulo en todos os casos é un fluxo magnético variable no tempo xa sexa de campo, xeometría ou orientación variable; é dicir, que o sistema non reacciona proporcionalmente ao fluxo magnético, senón á rapidez con que se produce a variación do fluxo.

Estas dúas leis da Física representan interaccións case instantáneas, e as primeiras requiren un tempo finito de resposta. Pódese facer unha discusión máis rigorosa baseándose en técnicas variacionais e principios de conservación, pero iso estaría fóra do obxecto deste artigo.

## TRANSFERENCIA DO ENUNCIADO INTEGRADOR AS CIENCIAS HUMANAS

---

Como en todas as analoxías, non se deben inferir resultados máis alá do que a propia analoxía suxire, pois no caso contrario as conclusións obtidas poderían ser falsas.

Existen moitos intentos de aplicar ás ciencias humanas e sociais mo-

delos de comportamento obtidos das ciencias físico-naturais, pero aquí aínda se dan máis limitacións. A pesar diso non se renuncia a establecer comparacións que poidan suxerir paralelismos co comportamento da natureza nas súas diferentes facetas.

## O EQUILIBRIO PSICOLÓXICO

---

O concepto de “homeostase”: regulación do equilibrio do medio interno e en xeral de toda a actividade do organismo, pode servir como ponte para explicar desde o punto de vista fisiolóxico algunhas teorías psicolóxicas, como por exemplo a teoría do campo psicolóxico de Kurt Lewin.

Lewin utiliza como conceptos básicos a tensión, a forza e o equilibrio. Ao usar a tensión e a forza dese-xaba representar un mundo psicolóxico dinámico e fluído. O seu modelo é un modelo equilibrante.

A tensión nunha rexión ou subrexión psíquica da persoa continúa motivando a conducta ata que se libera, se cisca ou se reduce dalgunha forma. Igualmente, a “locomoción psicolóxica” efectúase coma unha función de calquera desequilibrio de forzas e dirixida a un equilibrio de forzas do campo psicolóxico. Noutras palabras, ante a necesidade ou a frustración prodúcense conductas reguladoras ou de axuste que ocasionan o restablecemento dun

sistema equilibrado, pero non “cerrado”. A propia busca do equilibrio implica cambios estruturais e integración de influencias eco-psicolóxicas.

## CONCLUSIÓNS

---

Estableceuse un enunciado integrador que unifica e recolle as analoxías entre as leis experimentais físico - naturais, utilizando o método de busca de elementos comúns.

Aplicouse o teorema ás leis da química, bioloxía e ecoloxía, e encontrouse unha interrelación que permitiu establecer unha xeneralización dos mesmos. A similitude entre os enunciados das tres últimas leis non é casual: estes tres sistemas están interrelacionados, e é posible establecer formalmente as leis do seu comportamento mediante o estudio termodinámico dos procesos irreversibles.

Proxectouse o enunciado integrador ás leis da física: principio de acción e reacción e a lei de inducción de Faraday - Lenz; criticouse a fiabilidade e o alcance desta proxección, e estableceuse a similitude co enunciado xeral só pola analoxía entre elementos comúns.

Transferiuse o dito enunciado a campos das ciencias humanas como a psicoloxía, estudiouse a aplicación á lei do campo psicolóxico, e aínda se

establecieron máis limitacións. As ciencias físico-naturais obedecen ao principio de causalidade: "cando se reproducen situacións idénticas, obtéñense os mesmos resultados". As ciencias humanas e sociais obedecen ao principio de imputación; a participación da liberdade humana, no máis amplo sentido, introduce modificacións non expresables mediante algoritmos, é dicir, situacións idénticas non reproducen necesariamente os mesmos resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Caamaño, A. e outros, *Química de COU*, Barcelona, Teide, 1984.
- Casado Linarejos, Julio, "Proyectos de Ciencia Integrada", *Revista de Bachillerato*, 1, 1980, 63-79.
- Curtis, H e N.S Barnes, *Biología*, Médica Panamericana 5ª ed, 1993.
- De Groot, S. R., *Termodinámica de los procesos irreversibles*, Madrid, Alhambra, 1968.
- Margalef, Ramón, *Perspectivas de la teoría ecológica*, Barcelona, Blume, 1978.
- Purcell, Eduard M., *Berkeley Physics Course*, Vol. 2, Barcelona, Reverté, 1969.
- Souchay, P., *Termodinámica Química*, Barcelona, Toray-Masson, 1972.
- Vicente, Miguel e Renart, Jaime, "Ingeniería Genética", *Nuevas tendencias*, 3, 1987.