

PROTOCOLO PARA INVESTIGAR A IMPLEMENTACIÓN DUNHA SECUENCIA DE ENSEÑANZA NA AULA: TERMODINÁMICA QUÍMICA

Pereira García, I.; Domínguez Castiñeiras, J. M.

Depto. de Didácticas das Ciencias Experimentais. Universidade de Santiago de Compostela
iria.pereira1@rai.usc.es; josemanuel.dominguez@usc.es

This work is included into a wider research which seeks the design, planning and evaluation of a didactic proposal for the teaching of Chemical Thermodynamics in high school (age 16-18). A survey of the didactic proposal is presented as the independent variable in the mentioned research.

Keywords: *Chemical Thermodynamics, high school, didactic proposal, teaching*

1.- INTRODUCCIÓN

O presente traballo forma parte dunha investigación máis ampla relacionada co deseño, a planificación, a implementación e a avaliación dunha proposta didáctica para o ensino da Termodinámica Química en 2º de Bacharelato. Dita proposta constitúe a variable independente na investigación de Tese de Doutoramento da autora.

A investigación que se pretende desenvolver estruturarase en diferentes fases ao longo das cales se estudará a influencia da metodoloxía ensaiada nas formas de pensar e de facer dunha mostra de estudantes de Bacharelato por medio dunha proposta de ensino da Termodinámica Química. Dito estudo realizarase mediante a avaliación dos esquemas de razoamento e de acción que activan os alumnos a medida que desenvolven actividades deseñadas co propósito de acadar unha aprendizaxe significativa que faga útil o coñecemento científico.

Consideramos que para que se produza unha aprendizaxe significativa, é fundamental que os alumnos desenvolvan estratexias de razoamento e estratexias, destrezas e técnicas de investigación que destaquen o carácter funcional do coñecemento. Abordamos esta investigación dende o convencemento de que o razoamento e a argumentación deben ser promovidos como destrezas cognitivas fundamentais para a aprendizaxe significativa tanto de conceptos, modelos e procedementos científicos, como de actitudes e valores axeitados. Por unha parte, a aprendizaxe de conceptos, modelos e procedementos admitidos pola comunidade científica faranse útiles para a explicación, interpretación e predición de feitos, fenómenos e acontecementos; por outra banda, preténdese que os alumnos desenvolvan actitudes e valores encamiñados á construción dunha imaxe positiva da Ciencia como campo de produción, construción e divulgación de coñecemento, ao tempo que se fomenta unha valoración crítica e responsable da actividade científica, así como das súas implicacións e repercusións sociais e medioambientais.

Dende esta perspectiva, abordamos a investigación coa formulación dos problemas de investigación que se derivan das nosas intencións e das bases da investigación no campo da Didáctica das Ciencias. A partires dos problemas de investigación formulados realizaremos a presente exposición do deseño experimental a seguir.

2.- DISEÑO EXPERIMENTAL

En primeiro lugar, a nosa investigación require determinar cal é o *coñecemento inicial* dos estudantes, isto é, o coñecemento dos alumnos antes da aplicación da proposta didáctica.

É obvia a importancia de determinar o *coñecemento final* dos estudantes, có fin de investigar cales son os cambios nos coñecementos dos alumnos que xorden ou son favorecidos pola intervención, na aula, da metodoloxía ensaiada; non embargante, dende a nosa perspectiva, a investigación didáctica non se restrinxe á análise das situacións inicial e final de aprendizaxe, senón que consideramos fundamental estudar o progreso do coñecemento a medida que este o

constrúen os alumnos. Consideramos, pois, imprescindible a realización dun seguimento das manifestacións dos estudantes durante a intervención na aula. Este seguimento facilitaranos afondar nos detalles das múltiples situacións de aprendizaxe na aula e deste modo explorar máis finamente as interaccións dos alumnos e do mestre coa metodoloxía proposta. Ademais, a extracción de datos *in situ* permitirá evidenciar importantes momentos na evolución do coñecemento que doutro xeito pasarían desapercibidos.

Finalmente, e rematada a intervención na aula, cumprirá determinar o *coñecemento final* do alumnado. A través desta determinación indagaremos nos cambios que a metodoloxía ensaiada promove no coñecemento dos estudantes, tanto a curto prazo como unha vez transcorrido un tempo dende a intervención. A través da avaliación do coñecemento acadado trala implementación da proposta lograremos comprobar a *estabilidade*, a significatividade da aprendizaxe xerada, e chegar a conclusións que nos serán de grande utilidade á hora de avaliar o funcionamento da metodoloxía proposta.

Os problemas de investigación que derivan destas reflexións recóllense no **Cadro I**.

Problema 1: Antes da aplicación da proposta didáctica, e dende a perspectiva da ciencia escolar, ata que punto son adecuados e están suficientemente estruturados os coñecementos dos estudantes sobre a Termodinámica Química? En que medida son os estudantes capaces de transferir os seus coñecementos para explicar, describir e predicir os aspectos enerxéticos dos procesos químicos?

Problema 2: A aplicación da proposta didáctica na aula, en que extensión promoverá ou favorecerá a activación de esquemas de razoamento e de acción que permitan aos alumnos construír, estruturar e transferir os seus coñecementos de Termodinámica Química para a interpretación dos aspectos enerxéticos dos procesos químicos?

Problema 3: Despois da aplicación da proposta didáctica, ata que punto se producirá nos alumnos a activación de esquemas de razoamento e de acción adecuados dende a perspectiva da ciencia escolar, e útiles para a interpretación dos aspectos enerxéticos dos procesos químicos? En que medida se acadarán progresos significativos nos coñecementos e nas destrezas dos alumnos? Que conclusións poden extraerse sobre a permanencia do aprendizaxe transcorrido un certo tempo dende a intervención?

Cadro I: problemas de investigación plantexados

As hipóteses de traballo que formulamos derívanse dunha revisión da literatura científica no marco xeral da Didáctica das Ciencias. O plan de traballo no contexto real da aula de ciencias permitirá a verificación ou refutación das hipóteses, as cales aparecen recollidas no **Cadro II**.

Hipótese 1: Antes da aplicación da proposta didáctica, e desde o punto de vista da ciencia escolar, os coñecementos dos estudantes sobre a Termodinámica Química son inadecuados e non están o suficientemente estruturados para permitirlles interpretar os aspectos enerxéticos dos procesos químicos.

Hipótese 2: A aplicación da proposta didáctica na aula promoverá ou favorecerá a activación de esquemas de razoamento e de acción que permitan aos alumnos construír, estruturar e transferir os seus coñecementos de Termodinámica Química para a interpretación dos aspectos enerxéticos dos procesos químicos.

Hipótese 3: Despois da aplicación da proposta didáctica, producirase nos alumnos a activación de esquemas de razoamento e de acción adecuados desde o punto de vista da ciencia escolar, e útiles para a interpretación dos aspectos enerxéticos dos procesos químicos. Acadaranse progresos significativos nos coñecementos e nas destrezas dos alumnos, e a permanencia do

aprendizaxe transcorrido un certo tempo desde da intervención será significativa.

Cadro II: hipóteses de traballo

A investigación que describimos céntrase nun estudo de caso *quasi*-experimental, no que a variable independente é a metodoloxía proposta. No *Cadro III* recóllese graficamente o deseño experimental da investigación, que se fai explícito a partires das esixencias das hipóteses de traballo formuladas. En síntese, pode ser considerado como un deseño de tipo *pretest-posttest-posttest* sen grupo de control.

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
<i>Batería inicial de probas</i>	<i>Fase previa á intervención de aula</i>	<i>Aplicación da proposta didáctica</i>	<i>Batería final de probas</i>
Caracterización inicial da mostra	Acomodación á metodoloxía	Seguimento da aprendizaxe	Caracterización final da mostra
PRE-TEST <i>Hipótese 1</i>		VARIABLE INDEPENDENTE <i>Hipótese 2</i>	POST-TEST TEST DE RETENCIÓN <i>Hipótese 3</i>

Cadro III: deseño experimental da investigación

A verificación ou refutación de cada unha das hipóteses de traballo realizarase a partires das caracterizacións da mostra en diferentes situacións de aprendizaxe, tal como se mostra no *Cadro III*.

Así, para a verificación ou refutación da primeira hipótese, levarase a cabo a caracterización inicial da mostra na **Fase 1** da investigación, mediante a análise do coñecemento dos alumnos antes da intervención; a tal efecto, proporanse ao alumnado unha serie de actividades que constitúen unha batería inicial de probas cuxos resultados serán examinados mediante dous tipos de análise cualitativa que describiremos en breve.

Antes da implementación da proposta didáctica na aula, procederase á **Fase 2**, de acomodación á metodoloxía. Esta fase previa á intervención de aula, constituída por unha secuencia de actividades adicadas ao estudo da Termoquímica, proporciona un período de adaptación no que docente e alumnos se familiarizarán coa metodoloxía proposta, a fin de minimizar as influencias do cambio metodolóxico sobre o posterior desenvolvemento da proposta didáctica obxecto de investigación.

Seguidamente levarase a cabo a **Fase 3** da investigación, que consistirá na aplicación da proposta didáctica na aula, a través da secuencia de actividades deseñada sobre Termodinámica Química. Nesta fase da investigación, a segunda hipótese de traballo será contrastada mediante a aplicación da dobre análise cualitativa mencionada ao estudo das manifestacións, tanto orais como escritas, do alumnado durante o proceso de construción do coñecemento a través das actividades que constitúen a proposta didáctica. Este seguimento durante as sesións de aula permitirá explorar a evolución que experimenta o coñecemento de cada un dos alumnos ao longo da intervención.

Na **Fase 4**, unha batería final de probas avaliará o coñecemento final dos alumnos inmediatamente despois da aplicación da proposta didáctica. Os datos obtidos da dobre análise cualitativa dos resultados deste *post-test*, contrastados estatisticamente cos resultados iniciais, poñerán de manifesto a aprendizaxe xerada pola proposta. Posteriormente, un certo tempo despois de finalizada a intervención na aula, realizarase un *test de retención* cuxos resultados, comparados por contraste estatístico cos datos extraídos do primeiro *post-test*,

indicarán a estabilidade no tempo (significatividade) da aprendizaxe xerada pola metodoloxía aplicada. Do conxunto destas análises extraeráse unha serie de conclusións que permitirán a verificación ou refutación da terceira hipótese de traballo.

As análises cualitativas ás que serán sometidos os datos valeirados das baterías de probas e das actividades de aula consisten, en primeiro lugar, nunha análise *item a item* sobre os razoamentos xustificativos e as estratexias de acción que empregan os alumnos nas súas respostas a todas e cada unha das actividades e probas propostas. En segundo lugar, estudaranse os esquemas de razoamento e os esquemas de acción que activan os alumnos á hora de explicar, interpretar e predicir os feitos, fenómenos e situacións propostas. A través destes esquemas caracterizaremos a forma na que se estrutura o discurso dos estudantes, a partires dos seus argumentos e das súas accións.

Dentro dunha concepción global da aprendizaxe, esta supón o establecemento de estruturas, entendidas como redes de interrelacións que integran non só o coñecemento, senón tamén como se usa (Domínguez *et al.*, 2003). Neste sentido, podemos diferenciar estruturas útiles para a descrición e interpretación de feitos, situacións e fenómenos (*estruturas de razoamento*), e estruturas que integran as técnicas, os procedementos e as destrezas necesarias para levar a cabo tarefas relacionadas co saber facer, como o contraste de hipóteses ou a resolución de problemas (*estruturas de acción*). Ambos tipos de estruturas, de razoamento e de acción, son case sempre interdependentes.

Unha das teorías máis destacadas entre as diversas que propoñen como se organiza a aprendizaxe á redor de estruturas de coñecemento e comprensión do suxeito que aprende é a teoría do esquema, desenrolada por Rumelhart e Ortony (1982). A teoría do esquema propón que tanto a comprensión como os mecanismos de recordo da información (pensamento e memoria) dependen de estruturas mentais idiosincrásicas, nas cales a información entrante a través dos estímulos pode ser recollida e procesada (*activada*). A este respecto é innegable a influencia da compoñente contextual na activación das estruturas mentais que integran o coñecemento: un mesmo estímulo pode xerar, dependendo do contexto en que se presente, distintos modelos utilizables para a comprensión; en ocasións, modelos mentais activados para a comprensión dun estímulo nun contexto determinado poden non ser activados en contextos diferentes, ou ser activados cun significado diferente sen relación coas estruturas que o suxeito activa para a comprensión do estímulo.

Coa fin de representar estas estruturas mentais, en especial ás referidas a conceptos, propuxéronse multitude de técnicas. A teoría do esquema cobra gran relevancia neste punto, ao tratarse dunha das correntes influentes entre as diversas que buscan explicación ao procesamento da información na memoria. Numerosos autores propoñen modelos de organización do coñecemento na memoria baseados nalgunha clase de organización de tipo esquemático. Os esquemas representan conxuntos organizados de coñecementos, pertencentes a un dominio concreto, que forman estruturas altamente interrelacionadas, e que o individuo activa para dar resposta a unha determinada situación, feito ou acontecemento. Segundo esta teoría, a aprendizaxe prodúcese por por xeración, agregación, axuste e reestruturación de esquemas.

Propostos por Domínguez *et al.* (2003) a partires da teoría do esquema (Rumelhart e Ortony, 1982), os *esquemas de razoamento e de acción* permiten representar as estruturas do coñecemento relacionado, respectivamente, co razoamento e a comprensión, e coa realización das accións e secuencias de accións. Proporcionan unha ferramenta útil para indagar nas estruturas de pensamento dos alumnos; non só interveñen como instrumento de cara á avaliación da aprendizaxe nas diferentes situacións nas que se levan a cabo as caracterizacións da mostra, senón que son unha base importante na planificación da propia proposta didáctica, e, en función dos esquemas iniciais dos alumnos, permitirán relacionar a proposta coa aprendizaxe promovida ao longo da intervención na aula.

3.- A VARIABLE INDEPENDENTE: “TERMODINÁMICA QUÍMICA”

Preséntase a continuación a secuencia de actividades “Termodinámica Química”, deseñada para o nivel educativo de 2º de Bacharelato, que constitúe a variable independente na investigación que se pretende desenvolver.

A proposta que presentamos está fundamentada nun enfoque construtivista, que considera a aprendizaxe das Ciencias como unha construción de coñecementos que se debe fomentar desde a integración dos contidos conceptuais e procedementais, xunto coa énfase nos contidos actitudinais. O coñecemento científico integra estes tres tipos de contidos, e o ensino non debe ignorar ningún destes aspectos: do contrario, non só se ofrecería unha visión incompleta e distorsionada da Ciencia, senón que se desperdiciarían boa parte dos valores formativos que xustifican a súa inclusión entre os coñecementos básicos e obrigatorios.

Para lograr este obxectivo propoñemos dúas secuencias de actividades (a fase previa “Termoquímica” e a proposta didáctica obxecto de estudo, “Termodinámica Química”) a través das que se farán explícitos os coñecementos previos e fomentarase a construción de coñecementos novos a partir de situacións problemáticas abertas (Díaz e Jiménez, 1999; García de Cajén, 2007), significativas para o alumnado. A resolución dos problemas propostos permite a reflexión e reestruturación dos construtos teóricos e procedementais da Ciencia. Preténdese que o alumnado perciba o coñecemento científico como un *corpus* teórico e procedemental frutífero á hora de describir, interpretar e predicir situacións, feitos e fenómenos da realidade. Neste sentido, a integración do coñecemento conceptual e procedemental permitirá poñer de manifesto o carácter funcional do coñecemento científico.

O modelo de deseño, planificación e desenvolvemento que seguimos para a estruturación das dúas secuencias de ensino que se presentan (Domínguez, 2007) consta de cinco tarefas: en primeiro lugar, a determinación do contido académico; seguidamente, a determinación da problemática de aprendizaxe; en terceiro lugar, a selección, formulación e secuenciación de obxectivos; en cuarto lugar, a selección de estratexias de instrución; e, por último, a selección de estratexias de avaliación.

A secuencia de actividades “Termodinámica química” permite dar sentido aos principais conceptos e enunciados mediante os que a Ciencia aborda o tratamento, dende o punto de vista termodinámico, dos sistemas químicos e das transformacións que neles teñen lugar. Pero, ao mesmo tempo, o coñecemento que se pretende promover no proceso de aprendizaxe non se limita ao tratamento meramente conceptual dos intercambios enerxéticos implicados nos procesos físicos e químicos, senón que involucra a explicitación e o desenvolvemento de destrezas, estratexias e procedementos relacionados co deseño, a planificación, a realización, a análise, a discusión e a comunicación de experiencias de laboratorio.

Tarefa 1: selección, organización e secuenciación do contido académico

A proposta didáctica que presentamos pretende abordar o ensino dun tema, a Termodinámica Química, incluído nos programas de Bacharelato de tódolos países.

A planificación da nosa proposta pasa necesariamente pola selección, a organización e a secuenciación dos contidos concretos que permitan alcanzar as expectativas propostas (Sánchez e Valcárcel, 1993; Domínguez, 2007).

Neste sentido, as nosas decisións baseáronse, por unha banda, nas directrices contempladas polos deseñadores do currículo oficial para o nivel educativo de 2º de Bacharelato (XUGA, Decreto 126/2008, do 19 de Xuño). Desta análise seleccionamos os contidos especificados no

Cadro IV:

Contidos conceptuais

Sentido de evolución do sistema químico (espontaneidade de reacción).

Reversibilidade e irreversibilidade dos procesos termodinámicos.

Segundo Principio da Termodinámica.

Entropía – interpretacións macroscópica e microscópica.

Enerxía de Gibbs – relación coa evolución dos sistemas químicos.

Ecuación fundamental da Termodinámica.

Contidos procedementais

Observación de fenómenos e formulación de hipóteses explicativas.

Elaboración de estratexias de resolución de problemas (incluído o control e exclusión de variables) e de deseños experimentais que poñan de manifesto o comportamento termodinámico dos sistemas.

Técnicas de observación e toma de datos de fenómenos observados e experiencias realizadas.

Utilización adecuada de instrumental e aparatos de laboratorio.

Formulación dos conceptos e os principios que permiten explicar o comportamento termodinámico dos sistemas químicos.

Interpretación, por medio dos principios termodinámicos, de fenómenos químicos con repercusión social e medioambiental.

Manexo, a nivel de elaboración e interpretación, de ecuacións químicas e termoquímicas, esquemas e ciclos termodinámicos, gráficas (en especial, diagramas entálpicos).

Manexo interpretativo das táboas de datos termodinámicos.

Realización e interpretación de cálculos termodinámicos elementais.

Busca, selección e consulta de fontes de información.

Comunicación de resultados utilizando a terminoloxía e a simboloxía adecuadas.

Elaboración de informes sobre os traballos elaborados e realización de debates.

Contidos actitudinais

Valoración da investigación científica como medio de produción de coñecemento, así como consciencia do seu carácter tentativo, evolutivo e non dogmático.

Valoración das contribucións da ciencia á mellora da calidade de vida das persoas e ao logro de estilos de vida saudables e da sustentabilidade.

Valoración crítica da actividade científica e industrial, así como das súas implicacións e repercusións sociais e medioambientais.

Valoración crítica da información científica e da comunicación.

Interese pola observación de fenómenos naturais.

Interese no deseño e na realización de experiencias, recollida de datos, manexo de material e instrumentos de laboratorio, e a elaboración de informes.

Interese na utilización de construtos teóricos e na súa confrontación cos feitos empíricos.

Coidado e respecto polo material e instrumentos do laboratorio.

Valoración da necesidade de pulcritude, de transparencia comunicativa, de rigor científico e de medidas de seguridade e hixiene na realización dos traballos.

Respecto pola opinión dos demais e á diversidade social e cultural.

Respecto polo medio ambiente.

Cadro IV: contidos obxecto de aprendizaxe

Por outra banda, dado que historicamente o campo da Termodinámica foi obxecto de controversia científica en numerosas ocasións, e posto que diversas implicacións asociadas á súa natureza aumentan a complexidade do seu ensino, consideramos necesario revisar o significado dos principais conceptos termodinámicos e as implicacións asociadas á súa natureza dende o punto de vista da comunidade científica. Analizada esta dobre perspectiva, sobre as recomendacións lexislativas e sobre a propia epistemoloxía da Ciencia, planificouse a transposición didáctica dos contidos, e dimensionouse o coñecemento desexable dende o punto de vista da ciencia escolar mediante a elaboración de esquemas de razoamento e acción.

Tarefa 2: determinación da problemática de aprendizaxe:

Na área de Didáctica das Ciencias acéptase amplamente que o proceso de *transposición didáctica* é necesario para que os contidos obxecto de aprendizaxe resulten accesibles,

interesantes e significativos para o alumnado. Dende este punto de vista, a análise conceptual constitúe un punto de referencia importante para a organización e secuenciación das actividades de aula. Por outra banda, as ideas previas e o coñecemento empírico do mundo cotiá deben ser considerados como unha estrutura básica sobre a que os alumnos comezan a organizar o coñecemento científico; de aí que a indagación dos coñecementos cos que os alumnos chegan á aula sexa unha das primeiras tarefas que abordar á hora de deseñar propostas didácticas.

Realizouse unha revisión da literatura científica sobre os problemas de aprendizaxe e as ideas alternativas do alumnado no referente á Termodinámica Química (Pereira García e Domínguez Castiñeiras, 2008), có fin de indagar nas concepcións e modelos dos estudantes antes da intervención na aula. As conclusións extraídas deste estudo, complementadas cunha análise das esixencias cognitivas que demandan os contidos obxecto da aprendizaxe (Shayer e Adey, 1986), proporcionan unha base importante para a adaptación, dende o punto de vista cognitivo, dos contidos conceptuais e procedementais ás características psicoevolutivas dos que aprenden.

A propósito dos problemas de aprendizaxe e as ideas alternativas dos alumnos sobre a Termodinámica Química, destacaremos que diversos investigadores observaron que as respostas dos alumnos adoitan caracterizarse pola predominancia de afirmacións ou descripcións macrofísicas, polo xeral pouco ou nada relacionada co nivel de coñecemento microscópico. Por outra banda, os significados cotiás dos termos científicos dominan as interpretacións e explicacións dos alumnos, en ocasións, tales dificultades resultan favorecidas pola terminoloxía contida nos libros de texto ou empregada polos docentes. Observouse así mesmo unha importante tendencia á manipulación das expresións alxébricas en detrimento das interpretacións conceptuais, tendencia alentada dende o ensino tradicional e dende a consideración social das matemáticas como *linguaxe da ciencia*.

Numerosos autores alertan de que os alumnos adoitan “conformarse” facilmente integrando as novas nocións termodinámicas nas súas estruturas alternativas preexistentes. Con frecuencia tenden a utilizar certas analoxías e explicacións causais introducidas nos niveis de ensino básicos e, en particular, entre elas mostra especial persistencia a estrutura alternativa das *formas de enerxía*, que facilita que os alumnos consideren a enerxía como unha sustancia *quasi-material*; unha concepción *pseudo-materialística* similar aparece incluso entre alumnos universitarios no referente ao enlace químico e aos procesos de intercambio enerxético calor e traballo. En non poucas ocasións, por tanto, as interpretacións e explicacións dos alumnos deben sufrir un cambio non xa dentro dunha categoría ontolóxica, senón entre categorías ontolóxicas, coa notable dificultade que isto implica (Chi *et al.*, 1994).

Do estudo realizado concluímos que existen moi diversas fontes de orixe e influencia para a aparición e permanencia das mesmas. Moitas das dificultades constatadas polos diversos autores débense á propia natureza da Termodinámica Química en si, ao seu alto grao de abstracción ou á súa elevada demanda conceptual. Tamén existen dificultades de aprendizaxe relacionadas coa interpretación e representación da materia -macroscópica, microscópica y simbólica (Johnstone, 1982); detéctanse así mesmo ideas e estruturas alternativas asociadas a prerequisites conceptuais como temperatura, calor, enerxía, enlace químico ou reacción química, e tamén dificultades xeradas nas situacións aprendizaxe, en ocasións facilitadas pola influencia da linguaxe cotiá. Todas estas contribucións á aparición e persistencia de ideas e estruturas alternativas non deben ser esquecidas pola comunidade educativa á hora de deseñar e planificar as propostas didácticas, enfocadas a lograr unha aprendizaxe significativa dos conceptos e relacións termodinámicas no contexto das reaccións químicas.

Tarefa 3: selección, formulación e secuenciación dos obxectivos de aprendizaxe:

A integración das análises científica e didáctica permítenos facer explícitos os obxectivos que constituirán a guía para o deseño e secuenciación da nosa proposta. Os criterios de selección, formulación e secuenciación dos mesmos atenden ao desenvolvemento das capacidades, destrezas, estratexias e actitudes positivas que se espera que os alumnos acaden mediante a aprendizaxe.

Seleccionamos os obxectivos que se enumeran no **Cadro V**.

<p>Construír o significado da espontaneidade de reacción en relación ao sentido de evolución dos sistemas químicos.</p> <p>Xustificar a introdución da función de estado entropía para o estudo da evolución dos sistemas químicos.</p> <p>Interpretar o segundo e o terceiro principios da termodinámica.</p> <p>Dar significado dende o punto de vista macroscópico e microscópico ao concepto de entropía.</p> <p>Construír o concepto de enerxía de Gibbs como función de estado extensiva que proporciona unha condición de equilibrio para os sistemas químicos. Relacionar a enerxía de Gibbs co traballo útil dos sistemas e coas funcións de estado entalpía e entropía.</p> <p>Recoñecer os criterios de espontaneidade de reacción referidos ao universo (entropía) e ao sistema (enerxía de Gibbs).</p> <p>Desenvolver estratexias de obtención de información acerca da espontaneidade das reaccións químicas en base á interpretación de datos termodinámicos e a un razoamento fundamentado nos conceptos e principios termodinámicos.</p>

Cadro V: obxectivos de aprendizaxe

Aínda que esta relación de obxectivos poida suxerir que a nosa intención educativa redúcese ao ensino de contidos exclusivamente conceptuais e procedementais, debemos insistir na nosa visión integradora dos tres tipos de contidos que compoñen o coñecemento científico.

Dende este punto de vista, consideramos que a nosa proposta debe fomentar unha educación estimuladora de todas as capacidades do alumnado, incluídas unha serie de capacidades, estratexias, destrezas e actitudes que se espera que os alumnos acaden mediante a aprendizaxe.

Tarefa 4: selección das estratexias de instrución:

A metodoloxía de traballo que propoñemos baséase nas fases de exploración, indagación e aplicación que comentaremos a continuación nas que consideramos recomendable estruturar non só as estratexias de instrución, senón tamén as actividades e a propia secuencia de aprendizaxe.

No **Cadro VI** recóllese un esquema das estratexias de instrución, actividades e secuencia de aprendizaxe propostas por Ollerenshaw e Ritchie (1997).

<p>Fase de exploración: foméntase, a partires dun determinado aspecto da realidade, a expresión persoal do coñecemento cotiá para chegar á síntese do coñecemento implícito.</p>

Orientación: búscase espertar o interese e a curiosidade dos alumnos.

Estimulación/estruturación: axúdase aos alumnos a explicitar e clarificar o que pensan.

<p>Fase de indagación: foméntase un proceso diversificado, mediante o que se demanda a síntese do coñecemento explícito, escolarmente construído.</p>
--

Intervención/reestruturación: anímase aos estudantes a manter, desenvolver ou substituír as súas ideas.

Reestruturación: axúdase aos estudantes a recoñecer o significado do que percibiron e de como o interpretaron. Infórmaselles sobre as ideas clave e sobre os modelos da ciencia

escolar, ensinándolles a utilizarlos como fundamento das súas percepcións e das súas explicacións.

Fase de aplicación: foméntase a transferencia do aprendido á explicación de novas situacións, acontecementos e experiencias adquiridas na vida cotiá, a través da análise, da reflexión e da acción.

Cadro VI: fases para o deseño da secuencia de actividades

A secuencia de actividades que describimos a continuación pretende lograr que o alumnado incorpore aos seus coñecementos novas perspectivas teóricas que lle permitan describir, interpretar e predicir os aspectos termodinámicos elementais das reaccións químicas. Dende a nosa perspectiva metodolóxica consideramos que se deben fomentar situacións nas que os alumnos identifiquen e valoren as súas propias ideas, sexan conscientes das ideas dos seus compañeiros e das da ciencia escolar, e deste xeito se impliquen na construción do coñecemento. Para acadar este obxectivo, recoméndase crear un clima de debate na aula mediante o traballo en pequenos grupos, de xeito que a argumentación cobre un papel protagonista nas diferentes situacións de aprendizaxe. Este entorno de traballo proporcionará a oportunidade de que os alumnos expliciten as súas ideas, presenten as súas propias hipóteses e conclusións, e elaboren os seus propios argumentos para xustificalas. Neste proceso de construción do coñecemento, o docente desempeña unha labor mediadora para a que conta coas estratexias que considere axeitadas para guiar ao alumnado cara unha evolución paulatina das súas concepcións iniciais ás concepcións desexables dende o punto de vista da ciencia escolar, ao recoñecer nelas un maior poder explicativo.

A continuación detállanse as actividades de aprendizaxe que, secuenciadas, constitúen a secuencia de ensino obxecto de estudo. Cada unha das actividades enfronta ao alumnado a unha situación, feito ou fenómeno da realidade observable, o máis significativa posible. Deseñáronse guións de traballo individuais para o alumnado con espazo suficiente como para facilitar, por unha banda, o rexistro sistemático das incidencias de aula; por outra, o desenvolvemento do traballo persoal do alumno (anotacións persoais, hipóteses, deseños de experiencias, conclusións, consultas bibliográficas, resúmenes gráficos ou esquemáticos...); e así mesmo sirvan de apoio e referencia para a reflexión sobre as interaccións entre os alumnos e co docente (ideas dos debates en grupo, postas en común do gran grupo, intervencións do profesor...). Deste xeito, os guións do alumnado convértense nun caderno de traballo e un material de consulta que, ademais, fomenta a autoavaliación por parte dos estudantes e permite aos investigadores recoller información sobre a evolución do coñecemento dos estudantes e sobre o funcionamento da metodoloxía nas diferentes situacións de aprendizaxe e a acollida da proposta por parte de alumnos e docente.

No *Cadro VII* preséntase unha breve descrición da secuencia de actividades proposta.

Nº DE ACTIV.	TIPO DE ACTIV.	TEMA/CONTIDOS	BREVE DESCRICIÓN
1	Explor.	(<i>variación de entalpía</i>)	Exponse a necesidade de buscar unha nova función de estado para predicir se un proceso termodinámico sucederá ou non –a entalpía non é suficiente.
2	Reestr.	Reversibilidade, espontaneidade	Ofrécese información e foméntase a reflexión sobre a espontaneidade e a reversibilidade dos procesos químicos –queda aberto o camiño para presentar o Segundo Principio e a noción de entropía en relación

			coa calor e a temperatura.
3	Reestr.	O 2º Principio e a entropía	Preséntase o Segundo Principio. A entropía xurde da relación calor-temperatura... e relaciónase coa espontaneidade e co equilibrio nos sistemas termodinámicos.
4	Aplic.	O móbil perpetuo de 2ª especie	Enfróntase ao alumno coa imposibilidade de conseguir o móbil (transatlántico) perpetuo de 2ª especie.
5	Reestr.	Entropía, mundo microscópico e espontaneidade	Infórmase ao alumnado sobre a espontaneidade e a probabilidade dos estados –introdúcese unha interpretación microscópica da entropía.
6	Aplic.	Entropía do grafito e do diamante	Preséntase aos alumnos a posibilidade de predicir (cualitativamente) o valor de entropía do grafito e do diamante, a través da reflexión sobre as súas propiedades –é posible introducir o Terceiro Principio.
7	Aplic.	Variacións de entropía nos sistemas físicos	Os alumnos predirán as variacións de entropía asociadas a procesos de cambio de estado.
8	Aplic.	Variacións de entropía nos sistemas químicos	Os alumnos explicitarán os criterios que empregan para predicir a variación de entropía de varias reaccións químicas.
9	Explor.	É a entropía un <i>bo</i> criterio de espontaneidade?	Propónse aos alumnos a conveniencia de buscar unha nova función de estado para predicir a espontaneidade –a utilización da entropía, criterio válido, require información (non sempre dispoñible) sobre o entorno.
10	Reestr.	Energía de Gibbs, espontaneidade e equilibrio	Preséntase a enerxía de Gibbs como novo criterio de espontaneidade; relaciónase este práctico novo criterio co traballo útil e coa evolución do sistema cara ao equilibrio.
11	Reestr.	Ecuación fundamental da Termodinámica	Faise explícita a relación entre a variación de entalpía, a variación de entropía, a temperatura e a enerxía de Gibbs: a ecuación fundamental da Termodinámica.
12	Aplic.	Pedra calcaria (I)	Primeira actividade dunha pequena serie para a análise termodinámica dunha reacción; é estable a pedra calcaria con respecto á súa descomposición en CO ₂ e CaO... a temperatura ambiente?.
13	Aplic.	Pedra calcaria (II)	Enfróntase aos alumnos coa busca de condicións axeitadas para descompoñer termicamente a pedra

			calcaria (ver <i>Cadro IX</i>).
14	Aplic.	Pedra calcaria (III)	Pídese aos alumnos que describan e interpreten dende o punto de vista termodinámico o proceso de calcinación da pedra calcaria nun forno.
15	Aplic.	Hematites, magnetita e metalurxia	A partires dunha análise termodinámica, os alumnos reflexionarán sobre os criterios a seguir na escolla dun dos dous óxidos de ferro como mena para a industria pirometalúrxica (ver <i>Cadro X</i>).
16	Aplic.	O hule, un polímero	Propónse o estudo termodinámico dun feito tan cotiá como o estiramento dunha banda de hule.
17	Aplic.	Deposicións volcánicas de xofre	Pode a Termodinámica axudarnos a elixir algún método para a eliminación da “chuvia ácida”... ou a minimización das súas consecuencias?
18	Aplic.	Explosións e termodinámica	Foméntase nos alumnos a reflexión sobre a natureza e propiedades de varios compostos explosivos.
19	Aplic.	Formación da auga a partires dos seus elementos	Preséntase aos alumnos unha reacción espontánea, pero <i>imperceptible</i> por causas cinéticas.
20	Aplic.	A síntese de Haber	Preténdese facer reflexionar aos alumnos sobre a dificultade de escolla de condicións axeitadas para levar a cabo algunhas reaccións –novas implicacións cinéticas: presentación dos catalizadores (ver <i>Cadro VIII</i>).
21	Aplic.	Formacións calcarias na Natureza e na casa	Enfróntase aos alumnos con fenómenos relacionados coa reversibilidade e có equilibrio dunha das reaccións químicas máis coñecidas: a precipitación de carbonato cálcico dende disolucións bicarbonatadas.
22	Aplic.	Espontaneidade bioquímica	Preséntase aos alumnos o mecanismo de “acoplamento” de reaccións bioquímicas, gracias ao que é posible en condicións fisiolóxicas un gran número de reaccións non espontáneas por si soas.

Cadro VII: secuencia de actividades “Termodinámica Química”

A secuencia de actividades “Termodinámica Química” pode considerarse dividida en dous bloques de contido: un primeiro bloque trata a espontaneidade e a reversibilidade dos procesos termodinámicos, a entropía e os Principios Segundo e Terceiro da Termodinámica; o segundo bloque de contidos céntrase na enerxía de Gibbs e na ecuación fundamental da Termodinámica.

Para cada un dos dous bloques de contidos, as actividades están secuenciadas nas tres fases arriba mencionadas: cada bloque comeza cunha actividade de exploración, na que se enfronta aos alumnos coa necesidade de novos construtos teóricos útiles para a descrición e interpretación de fenómenos; continúa con actividades de indagación-reestruturación, que

presentan novas perspectivas científicas que o alumnado debe interpretar, analizar e avaliar; e remata cunha serie de actividades de aplicación, orientadas á síntese e transferencia dos novos coñecementos a novas situacións e/ou á reflexión sobre o propio proceso de aprendizaxe. As últimas actividades de aplicación introducen ideas referidas aos aspectos cinéticos e de equilibrio, a fin de facilitar a inclusión da Termodinámica Química nunha visión global e integradora da Química entendida como ciencia. En concreto, propóñense dous fenómenos que, a pesares de seren espontáneos, nas condicións estándar non resultan apreciables debido á lentitude con que teñen lugar (actividades 19 e 20).

Grupo _____ N° _____ Idade _____ Data _____
NOME _____

Actividade 20: a síntese Haber

O químico alemán Fritz Haber (Premio Nobel de Química en 1918) foi o impulsor da síntese do amoníaco a partir de dous gases moi abundantes: nitróxeno e hidróxeno. Gracias ó proceso Haber, de grande utilidade na produción de abonos nitrogenados, Alemaña experimentou un espectacular aumento da súa produción agrícola. Sen embargo, o logro científico de Haber abasteceu de nitratos ó seu país para a fabricación de explosivos durante a 1ª Guerra Mundial.

Ó rematar a 1ª Guerra Mundial, os aliados declararon a Haber criminal de guerra polas súas investigacións sobre gases tóxicos. Tras anos de fuxida, Haber volveu a Alemaña, de onde se viu obrigado novamente a fuxir pola persecución de Hitler ós xudeus. Morreu no exilio en 1934, dez anos antes de que un dos seus experimentos, baixo o nome de Zyclon-B, fose utilizado como gas de exterminio nos campos de concentración nazis.

A. Escribe a reacción que ten lugar no proceso Haber de síntese do amoníaco. En condicións de temperatura e presión atmosféricas, é esta reacción termodinamicamente espontánea?

B. A velocidade desta reacción é extremadamente lenta a temperatura ambiente. En que condicións aconsellarías levala a cabo para acadar unha maior produción de amoníaco?

C. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro VIII: actividade 20 da secuencia “Termodinámica Química”

No segundo caso –referido á síntese Haber do amoníaco–, preséntase aos alumnos a necesidade de buscar condicións axeitadas para levar a cabo a produción de amoníaco a escala industrial; este exemplo permite a introdución do tema de catálise como unha das solucións industriais máis comúns e proveitosas á hora de *forzar a suceder apreciablemente* certos procesos espontáneos, pero extremadamente lentos. As dúas últimas actividades propoñen feitos significativos para o alumnado, nos que os aspectos termodinámicos se relacionan cos de equilibrio e cos propios mecanismos das reaccións, e para a interpretación dos cales se require unha visión global dos procesos químicos como transformacións dinámicas.

Os resultados de numerosas investigacións didácticas publicadas (Pereira García e Domínguez Castiñeiras, 2008) coinciden na afirmación de que moitas das principais dificultades de aprendizaxe da Química teñen por orixe común unha débil comprensión ou a fragmentación e incluso total desconexión das interpretacións macroscópica e microscópica da materia, ou o “eclipse” da *consciencia microscópica* na descrición e xustificación dos fenómenos químicos. Neste sentido, a nosa proposta pretende facer fincapé na construción de

significados, dende o punto de vista microscópico, para os conceptos e os enunciados termodinámicos en relación coa natureza e a estrutura da materia. Numerosas actividades fomentan así mesmo a integración das perspectivas macroscópica e microscópica da materia, e o manexo das representacións simbólicas.

Algunhas das actividades iniciais e finais teñen un maior carácter individual, dado que foron deseñadas para fomentar a construción do coñecemento dende a reflexión individual previa á posta en común de ideas; polo contrario, as actividades con maior compoñente de desenvolvemento e aplicación diríxense ao traballo en pequeno grupo, sempre baixo a supervisión e orientación do profesor.

En diversas actividades preséntanse ao alumnado fenómenos relacionados coa súa vida cotiá, como poden ser o estiramento dunha banda de hule, ou a formación de costras insolubles nos condutos dos electrodomésticos. Este último exemplo de reacción química, que ilustra tamén a formación de estruturas calcarias en covas e é útil á industria para a obtención de cal viva a gran escala, serve de fío condutor para catro actividades (12, 13, 14, 21) nas que se pretende que os alumnos reestructuren e apliquen, coa intervención e posterior axuda do docente, todas as nocións termodinámicas fundamentais; a través dun dos procesos químicos quizais máis significativos para o alumnado, foméntase así mesmo o desenvolvemento de estratexias e procedementos para a resolución de problemas tamén dende o punto de vista alxébrico, que se converte non nun fin en si mesmo, senón nun instrumento ao servizo da obtención, do procesamento e da análise de datos útiles para a interpretación da realidade.

Grupo _____ N° _____ Idade _____ Data _____
NOME _____

Actividade 13: a descomposición térmica da pedra calcaria

Na actividade anterior comprobaches que unha suposta reacción de descomposición do carbonato cálcico en óxido de calcio e dióxido de carbono non é termodinamicamente espontánea a temperatura ambiente.

Unha das primeiras reaccións coñecidas polo ser humano é precisamente esta reacción: a descomposición térmica (calcinación) da pedra calcaria (carbonato cálcico)... a altas temperaturas en forno aberto. Nesta reacción libérase dióxido de carbono gaseoso e obtense óxido de calcio, CaO, comunmente coñecido como "cal viva".

A cal viva ten importantes aplicacións industriais: na fabricación do papel, no tratamento de augas afectadas pola chuva ácida, e no control da contaminación por parte dos combustibles fósiles. Ademais, tamén se utiliza na preparación de materiais refractarios (como certos vidros) e na metalurxia do aceiro, na cal se engade aos altos fornos coa fin de facilitar a eliminación das impurezas que acompañan ao mineral de ferro.

A. Que temperatura tería que alcanzar un forno para poder levar a cabo, a escala industrial, a calcinación da pedra calcaria?

B. Á hora de realizar os cálculos, baseácheste en datos experimentais obtidos a T ambiente. Son válidos estes datos para calcular o valor de variables termodinámicas en condicións de T afastadas da temperatura ambiente?




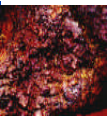
C. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro IX: actividade 13 da secuencia "Termodinámica Química"

Por outra banda, diversas actividades de aplicación pretenden desenvolver aspectos CTS referidos a problemas medioambientais e industriais, como, por exemplo, o problema da “choiva aceda”, a contaminación por parte da industria pirometalúrxica, ou a produción industrial de compostos explosivos. En varias delas (actividades 15, 17, 20, 21) propónse aos alumnos unha reflexión sobre estes aspectos CTS fundamentada en razoamentos de tipo químico –dende meramente termodinámicos, ata estruturais ou de reactividade–, medioambiental, socioeconómico –como pode ser a distribución e explotación dos recursos minerais utilizados na metalurxia e no sector enerxético– e tecnolóxico –en especial no referente á posibilidade de adoptar novos métodos de produción industrial, e de implantar mecanismos útiles para a recuperación de zonas contaminadas. Este tipo de actividades baséase na toma de decisións por parte dos alumnos, que farán explícitas as súas ideas e defenderán os seus criterios de elección a través da argumentación en pequeno e gran grupo mediante o debate na aula. Preténdese deste xeito que a sucesión de experiencias próximas ós alumnos sirva de estada para construír conceptos, modelos, estratexias, destrezas e actitudes cuxas interrelacións, ao evolucionar de acordo coa ciencia escolar, proporcionen aos alumnos unha perspectiva frutífera e funcional na descrición, interpretación e predición dos feitos, fenómenos e situacións problemáticas propostas.

Grupo _____ NOME _____	Nº _____	Idade _____	Data _____
---------------------------	----------	-------------	------------

Actividade 15: un pouco de termodinámica para a metalurxia

 <i>Hematites, Fe₂O₃</i>	 <i>Magnetita, Fe₃O₄</i>	<p>O ferro é o segundo metal máis abundante (despois do aluminio), e ocupa o cuarto lugar en abundancia na cortiza terrestre.</p> <p><i>Considérase que o núcleo terrestre consiste na súa meirande parte de ferro e níquel, e a presenza de grandes cantidades de ferro en numerosos meteoritos fai supor que este metal abunda en todo o sistema solar.</i></p> <p><i>Os minerais máis importantes de ferro son a hematita ou hematites, a magnetita, a limonita e a siderita.</i></p>
 <i>Limonita, FeO(OH)</i>		<p>A. Utilizando a táboa de datos termodinámicos, calcula a temperatura mínima á cal é termodinamicamente posible reducir o ferro trivalente do hematites a ferro metálico, facendo reaccionar o mineral con carbono.</p> <p>B. A partir de que temperatura a magnetita pode reducirse a ferro polo mesmo procedemento pirometalúrxico?</p> <p>C. Se tiveras que elixir un óxido de ferro como mena (materia prima mineral) para obter ferro a escala industrial, de que mineral partirías: hematites ou magnetita? Xustifica a túa resposta.</p> <p>D. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.</p>

Cadro X: actividade 15 da secuencia “Termodinámica Química”

Tarefa 5: selección das estratexias de avaliación da aprendizaxe xerada:

A este respecto, propoñemos unha avaliación formativa integrada no propio proceso de aprendizaxe. Deste xeito, a avaliación proporciona un instrumento para o seguimento da evolución do coñecemento dos alumnos. Ao basearse na análise das actividades da propia proposta, a información proporcionada por esta avaliación integrada é accesible tanto ao docente como aos investigadores, e tamén ao propio alumnado: a reflexión sobre a súas propias observacións, hipóteses e argumentos convértese nun medio útil para que os estudantes valoren máis aló da evolución das súas propias ideas, e perciban a importancia tanto da abstracción e da teorización, como dos construtos teóricos e procedementais da Ciencia e da súa divulgación e discusión, e así mesmo a utilidade da linguaxe científica. O conflito entre o poder explicativo das teorías científicas e as súas limitacións axudará a implicar aos alumnos no proceso de construción do coñecemento e a valorar de xeito crítico e responsable os métodos e as actitudes científicas, industriais e, en definitiva, sociais.

Esta estratexia de avaliación posibilita aos investigadores unha ferramenta para cuantificar en que medida a proposta é capaz de xerar cambios significativos no coñecemento dos alumnos, o cal resulta de grande utilidade á hora de perfeccionar, corrixir ou reformular a proposta; ademais, a avaliación das manifestacións do alumnado permiten comprobar en que medida os alumnos son conscientes da súa propia aprendizaxe.

No *Cadro XI* detállanse os criterios de avaliación considerados:

Identificar e analizar as variables termodinámicas que describen o estado dos sistemas químicos, así como os procesos de transformación enerxética que neles teñen lugar. Coñecer e valorar as implicacións dos aspectos enerxéticos dun proceso químico na saúde, na economía e no medio ambiente; en particular, as consecuencias do uso de combustibles fósiles no incremento do efecto invernadoiro e no cambio climático actual. Predicir, a partir dos conceptos de entropía e enerxía de Gibbs, a posibilidade de que un proceso químico teña ou non lugar en determinadas condicións. Obter, analizar e valorar información sobre fenómenos termodinámicos utilizando as estratexias básicas do traballo científico. Describir, analizar e predicir de forma científica situacións, feitos e fenómenos relacionados coa termodinámica das reaccións químicas.

Cadro XI: criterios de avaliación

4.- A FASE PREVIA: “TERMOQUÍMICA”

Descríbese a continuación a secuencia de actividades “Termoquímica”, que constitúe a fase previa á intervención de aula. Mediante a aplicación desta secuencia de actividades, deseñada polos investigadores, preténdese que tanto o profesor como o alumnado se acomoden á nova metodoloxía e á dinámica de traballo que consideramos necesaria antes da aplicación da proposta didáctica.

Dado que o deseño, a planificación e a secuenciación desta fase previa responden ao consideracións metodolóxicas descritas, pasan a detallarse directa e brevemente as tarefas de deseño nas que se inspira a secuencia de actividades:

Tarefas 1, 2 e 3: os resultados

No *Cadro XII* contémlanse meramente os contidos conceptuais seleccionados, posto que os contidos procedementais e os actitudinais son comúns a esta secuencia de actividades e á de “Termodinámica Química”.

Descrición termodinámica dos sistemas químicos. Transferencias de enerxía nas reaccións químicas. Funcións de estado. Enerxía interna.

Primeiro principio da termodinámica.
 Conservación da enerxía nos sistemas químicos.
 Calor de reacción e a súa determinación.
 Endotermia e exotermia das reaccións químicas.
 Concepto de entalpía - entalpías de enlace e de reacción.
 Leis da termoquímica (Hess e Lavoisier-Laplace).

Cadro XII: contidos conceptuais seleccionados

Pola súa parte, o ***Cadro XIII*** recolle os obxectivos derivados da integración das análises científica e didáctica.

Identificar os conceptos termodinámicos de sistema e entorno. Describir termodinamicamente os sistemas a través das variables termodinámicas, e dar significado ao concepto de función de estado.

Identificar as transferencias enerxéticas nas reaccións químicas.

Construír o significado de enerxía interna como propiedade extensiva dos sistemas materiais, debida aos movementos moleculares e ás interaccións intermoleculares. Relacionar as variacións da enerxía interna coas transferencias de enerxía.

Relacionar o primeiro principio da termodinámica coa conservación da enerxía nos sistemas químicos.

Construír o concepto de entalpía como función de estado extensiva que permite calcular o calor intercambiado por un sistema pechado nun proceso a presión constante. Relacionar a entalpía dun sistema químico coa enerxía interna.

Xustificar a endotermia e exotermia das reaccións químicas en termos de variacións de enerxía interna e de entalpía.

Recoñecer os diferentes métodos calorimétricos.

Adquirir destrezas relacionadas coa representación dos procesos enerxéticos das reaccións químicas mediante as ecuacións termoquímicas.

Dar significado ás leis da termoquímica (lei de Hess e lei de Lavoisier-Laplace), e relacionar as súas consecuencias co establecemento de ciclos que permiten o estudo enerxético das reaccións químicas.

Adquirir destrezas relacionadas coa interpretación dos datos termodinámicos tabulados e a súa manipulación alxébrica nos ciclos termoquímicos.

Cadro XIII: contidos conceptuais seleccionados

Tarefa 4: selección das estratexias de instrución:

No ***Cadro XIV*** preséntase unha breve descrición da secuencia de actividades proposta.

Nº DE ACTIV.	TIPO DE ACTIV.	TEMA/CONTIDOS	BREVE DESCRICIÓN
1	Explor.	<i>(calor, traballo, presión, temperatura, volume)</i>	A través dunha sinxela experiencia de laboratorio que mostra a reacción entre o zinc metálico e ácido clorhídrico diluído, propónse aos alumnos a descrición dun sistema químico mediante unha serie de variables termodinámicas que caracterizan o estado dos sistemas
2	Reestr.	Calor, traballo e enerxía; os sistemas e a enerxía interna; o	Foméntase a reflexión sobre os procesos de transferencia de enerxía. A enerxía interna xurde para explicar a enerxía dos sistemas en relación coa estrutura da materia. Preséntanse o Primeiro

		1º Principio	Principio da Termodinámica e a conservación da enerxía nos sistemas.
3	Aplic.	A enerxía nun sistema electroquímico	Os alumnos aplicarán as relacións termodinámicas traballadas á descrición do funcionamento dunha cuba electrolítica baseada na reacción da Actividade 1 –aparece o traballo nun sistema eléctrico (ver Cadro XV).
4	Aplic.	O motor de explosión. Unha segadora ideal...	Pídese aos alumnos que describan, dende o punto de vista termodinámico, o funcionamento dun motor de explosión; enfróntase aos alumnos á imposibilidade de conseguir o móbil (unha segadora) perpetuo de 1ª especie.
5	Explor.	<i>Calor de reacción</i> en condicións de volume constante e de presión constante	A partires da reacción de formación do CO (g), preséntase ao alumnado a diferenza existente entre a <i>calor de reacción</i> a volume constante e a <i>calor de reacción</i> a presión constante.
6	Reestr.	Enerxía interna e entalpía; exotermia e endotermia das reaccións	Infórmase ao alumnado sobre a relación entre a enerxía transferida a $V = \text{cte}$ e a variación de enerxía interna. Dado que en Química a maior parte das reaccións lévanse a cabo a presión constante, débese definir unha nova función de estado cuxa variación coincida coa enerxía transferida a $p = \text{cte}$: a entalpía.
7	Aplic.	Reflexión sobre a ΔH do proceso de disolución do NaOH (s)	Pídese aos alumnos que deseñen unha estratexia experimental para determinar a variación de entalpía asociada ao proceso de disolución do NaOH (s) (ver Cadro XVI).
8	Aplic.	Determinación calorimétrica da ΔH proposta na actividade previa	Actividade de laboratorio onde os alumnos, por grupos, levarán a cabo a determinación deseñada na actividade anterior.
9	Aplic.	Determinación da ΔH de neutralización HCl – NaOH	Actividade de laboratorio onde os alumnos, por grupos, levarán a cabo unha determinación calorimétrica para coñecer a ΔH asociada á neutralización entre HCl (aq) e NaOH (aq).
10	Reestr.	Determinacións calorimétricas; táboas e ecuacións termoquímicas; ΔH^0	Infórmase ao alumnado sobre a recollida de datos termodinámicos experimentais a partires das determinacións calorimétricas, a organización dos datos en táboas, a utilidade das ΔH^0 (estándar), e as ecuacións termoquímicas.
11	Reestr.	Leis da Termoquímica (Lei de Hess e Lei	Ofrécese ao alumnado información sobre as leis da Termoquímica e sobre as súas consecuencias; reflexionase sobre a conveniencia de dispoñer de

		de Lavoisier-Laplace)	datos de ΔH para reaccións de combustión e formación.
12	Aplic.	Lei de Hess aplicada sobre datos obtidos polos alumnos no laboratorio	Pídese aos alumnos que calculen, sen axuda de experiencias de laboratorio, a ΔH asociada á neutralización entre HCl (aq) e NaOH (s), a partires dos datos obtidos no laboratorio (actividades 8 e 9).
13	Aplic.	Cal viva, cal apagada e exotermia de reacción	Os alumnos calcularán, con axuda das táboas termodinámicas, a ΔH asociada á obtención da cal apagada a partires de cal viva e auga; discutiranse os resultados.
14	Aplic.	Diagrama entálpico sobre a combustión do metano	Preténdese que os alumnos calculen e discutan o valor da ΔH de combustión do metano –da discusión xurde a conveniencia de representar graficamente as ΔH nos coñecidos como <i>diagramas entálpicos</i> .
15	Aplic.	C, CO, CO ₂	Similar á anterior, esta actividade inclúe a comparación dos diagramas entálpicos de dous procesos relacionados.
16	Aplic. / Reestr.	A entalpía de enlace (ΔH_{enlace})	Os alumnos reflexionarán sobre a causa da diferenza nos valores de ΔH de combustión de etano, etileno e benceno. A posta en común das ideas dos alumnos servirá de base para a introdución do concepto de ΔH_{enlace} . (ver Cadro XVII).
17	Aplic.	O ciclo de Born-Haber	Introducida a perspectiva microscópica en termos de rupturas e formacións de enlace, os alumnos elaborarán e discutirán, paso a paso, o ciclo de Born-Haber correspondente á rede iónica do NaCl (s).
18	Aplic.	“Queimando calorías”?	Proponse aos alumnos a discusión, dende o punto de vista científico, sobre unha serie de expresións cotiás referidas aos aspectos enerxéticos do metabolismo.
19	Aplic.	Reflexións sobre os valores enerxéticos dos alimentos	Proponse aos alumnos achegar un razoamento xustificativo sobre os valores enerxéticos de diferentes alimentos –unha interpretación microscópica dos procesos termodinámicos (ver Cadro XIX).

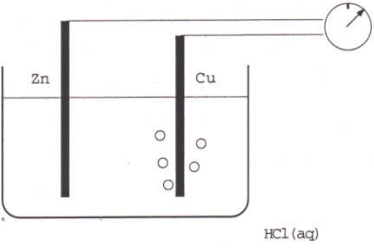
Cadro XIV: secuencia de actividades “Termoquímica”

A secuencia de actividades “Termoquímica” pode considerarse dividida en dous bloques de contido: un primeiro bloque aborda a descrición dos sistemas termodinámicos e dos procesos termodinámicos mediante unha serie de conceptos como as variables termodinámicas básicas, enerxía e transferencias de enerxía (calor e traballo)...; Con esta primeira aproximación ao estudo termodinámico dos sistemas químicos preténdese revisar e reestruturar unha serie de conceptos que o alumnado xa coñece (temperatura, presión, volume, masa, composición química, calor, traballo, enerxía) e integralos nun novo campo de coñecemento: a

Termodinámica. Neste bloque preséntanse a enerxía interna, o Primeiro Principio da Termodinámica e o principio de conservación da enerxía mecánica nos sistemas termodinámicos.

Grupo _____	N° _____	Idade _____	Data _____
NOME _____			

Actividade 3: como funciona un sistema electroquímico?



Dentro dunha cuba electrolítica, somerxe dous electrodos, un de Zn (s) e outro de Cu (s), nunha disolución de HCl (aq). Como indica a figura, conéctaos a un galvanómetro, que detecta o paso de corrente eléctrica.

A. Observa e describe termodinamicamente o que sucede na cuba electrolítica. Que ocorre na cuba se retiramos o electrodo de Zn (s) da disolución? E ao volvelo introducir na disolución?

B. A que cres que se deben os cambios que observas?

C. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro XV: actividade 3 da secuencia “Termoquímica”

O segundo bloque de contidos presenta a entalpía como unha nova función de estado de grande utilidade á hora de estudar as transferencias enerxéticas asociadas ás reaccións químicas. Trátase de que, ao longo das actividades que compoñen esta secuencia, os alumnos adquieran e fagan útil un marco teórico e procedemental cuxa adopción resulte funcional e frutífera á hora de describir, interpretar e predicir situacións, feitos e fenómenos dende o punto de vista termoquímico.

Novamente recalcamos a nosa intención de fomentar a integración da perspectiva microscópica nas explicacións dos alumnos á hora da interpretación dos aspectos enerxéticos das reaccións químicas. A introdución de coñecementos relativos ao dominio microscópico da Química, non contemplados na Termodinámica Clásica, proporciona aos alumnos unha perspectiva teórica máis ampla e de maior capacidade explicativa, interpretativa e predictiva. Ademais, a complementación do punto de vista termodinámico –macroscópico– cunha interpretación microscópica pon en evidencia o carácter funcional do coñecemento.

Neste sentido, tamén pretendemos que os alumnos expliciten e desenvolvan destrezas, estratexias e técnicas relacionadas co deseño, a planificación, a realización, a análise, a discusión e a comunicación de experiencias de laboratorio. En concreto, a actividade 7 propón ao alumnado o deseño e planificación dunha experiencia útil para determinar a variación de

entalpía correspondente ao proceso de disolución do NaOH (s) en auga. Esta actividade servirá de base ao docente para guiar as ideas do alumnado cara un deseño concreto de experiencia calorimétrica que será levada a cabo no laboratorio a través da actividade 8.

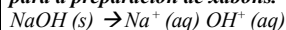
Grupo _____ N° _____ Idade _____ Data _____
NOME _____

Actividade 7: para o traballo no laboratorio, a planificación é o primeiro

Xa coñeces a función de estado entalpía, H , cuxa variación nos indica a enerxía transferida por calor a presión constante.

En Química, a meirande parte das reaccións que son levadas a cabo en laboratorio teñen lugar en recipiente aberto á atmosfera, ou o que é o mesmo, a presión constante $p = 1 \text{ atm}$. Por isto, resulta moi útil dispoñer de datos de variacións de entalpía (ΔH) asociadas a procesos físicos ou químicos, e medidos a 1 atm de presión.

Un exemplo de proceso termodinámico interesante é a disolución de substancias químicas, particularmente en auga. En concreto, centrámonos no proceso de disolución dunha base forte: o hidróxido sódico (NaOH), sólido iónico moi soluble en auga. Este composto, coñecido comunmente como “sosa cáustica”, é comercializado en forma de escamas ou lentellas, e foi amplamente utilizado no pasado para a preparación de xabóns.



A. Se a un volume de auga, a temperatura ambiente, engadimos lentellas de NaOH e axitamos, poderemos observar como o termómetro nos indica que a temperatura da auga aumenta apreciablemente a medida que o hidróxido sódico se dissolve. Como cres que será a variación de entalpía asociada ao proceso de disolución do hidróxido sódico en auga? Por que?

B. Que estratexia(s) proporías para coñecer a *calor* asociada ó proceso de disolución do NaOH en auga?

C. Que técnicas, precaucións e informacións consideras necesarias ou convenientes coñecer antes de levar a cabo a túa estratexia para determinar a *calor de disolución* do hidróxido sódico?

D. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro XVI: actividade 7 da secuencia “Termoquímica”

Por outra parte, a introdución de destrezas de cálculo en relación a ΔH non se aborda nesta secuencia de actividades ata ter completado a construción do concepto e dos enunciados termoquímicos que a el se refiren, pois consideramos que a comprensión conceptual debe preceder á manipulación alxébrica, e que unha presentación pura ou eminentemente algorítmica dos conceptos científicos pode representar un obstáculo adicional na construción dun coñecemento cuxas principais características sexan o seu carácter funcional e a súa aceptación racional e non dogmática. En toda actividade, pois, anímase aos alumnos a abordar

e resolver os problemas cuantitativos dende unha perspectiva crítica, reflexiva e analítica. Tamén nesta dirección se insistirá en que o diagrama entálpico representa graficamente a evolución que experimenta a entalpía do sistema durante a reacción química, pero non aporta información acerca da reacción química como interacción dinámica entre as partículas constituíntes do sistema.

Por último, destacaremos que diversas actividades de aplicación pretenden desenvolver aspectos CTS referidos a problemas medioambientais e sociais. A este respecto destacamos, pos exemplo, a reflexión sobre os criterios que deben guiar unha dieta saudábel (actividades 18 e 19), e sobre todo unha serie de debates sobre as alternativas enerxéticas fronte á queima de combustibles como carbón, petróleo ou biodiésel. A actividade 4 permite introducir un debate en gran grupo, partindo a eficiencia das máquinas térmicas en termos de traballo e calor, sobre as repercusións sociais, medioambientais e económicas das centrais térmicas. Na actividade 16, o debate sobre la enerxía e a sustentabilidade adquirirá unha nova dimensión mediante a complementación da perspectiva termodinámica, macroscópica, coa perspectiva microscópica dos modelos cinético-molecular e de enlace, o cal permite discutir, dende o punto de vista científico, sobre as propiedades dos combustibles.

Grupo _____ N° _____ Idade _____ Data _____
NOME _____

Actividade 16: a “entalpía de enlace”

A. A partir das táboas de ΔH_f , calcula ΔH_c dos seguintes compostos:

Etano: C_2H_6
Eteno (etileno): C_2H_4
Etino (acetileno): C_2H_2
Benceno: C_6H_6

B. Se che piden consello na elección dun combustible, cal dos catro compostos aconsellarías? Xustifica a túa resposta.

C. Explica detalladamente a que consideras que se deben as diferenzas que observas nos valores de ΔH_c .

D. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro XVII: actividade 16 da secuencia “Termoquímica”

A posta en común das ideas dos alumnos servirá para introducir na aula un debate en gran grupo sobre as vantaxes e desvantaxes da utilización dos combustibles fósiles como recurso enerxético. Así mesmo, o deseño da actividade permite abarcar implicacións CTS como, por exemplo, as causas da variabilidade nos prezos de mercado dos combustibles atendendo á súa dispoñibilidade (abundancia, capacidade de abastecemento, acordos comerciais entre países ou rexións xeopolíticas); outros temas de interese son a busca de recursos enerxéticos alternativos e a investigación para sustentabilidade, ou a adecuación dos recursos enerxéticos a aplicacións concretas (un exemplo destacado pode ser a enxeñería aeronáutica espacial).

Tarefa 5: selección das estratexias de avaliación da aprendizaxe xerada:

O **Cadro XVIII** recolle os criterios de avaliación propostos:

Identificar, dende o punto de vista termodinámico, o sistema e o seu entorno, así como as posibles interaccións entre ambos.

Coñecer as variables termodinámicas que describen o estado dos sistemas químicos, así como os procesos de transformación enerxética que neles teñen lugar.

Explicar as contribucións cinética, potencial e interna á enerxía total dun sistema termodinámico.

Comprender o principio de conservación da enerxía mecánica nos sistemas químicos e as súas implicacións.

Explicar e determinar a variación de entalpía asociada a unha reacción química.

Coñecer as leis termoquímicas, o seu ámbito de validez, as súas limitacións e as súas consecuencias.

Coñecer e valorar as implicacións dos aspectos enerxéticos dun proceso químico na saúde, na economía e no medio ambiente; en particular, as consecuencias do uso de combustibles fósiles no incremento do efecto invernadoiro e no cambio climático actual.

Cadro XVIII: criterios de avaliación

Queremos facer fincapé na nosa proposta de integrar a avaliación no proceso de aprendizaxe. A análise das propias actividades de aplicación servirá tanto para obter información sobre a evolución do coñecemento dos alumnos, como para que eles mesmos sexan conscientes da súa propia aprendizaxe.

Como exemplo de actividade de aplicación útil para a avaliación, presentamos no **Cadro XIX** a actividade 19, na que, a partires dunha táboa de “valores enerxéticos” referidos a diferentes alimentos (coma o pan, a manteiga, a carne, o queixo, os ovos ou o leite), os alumnos reflexionarán sobre os aspectos termodinámicos do metabolismo.

Grupo _____	N° _____	Idade _____	Data _____
NOME _____			

Actividade 19: nutrición e termodinámica

A unidade de enerxía utilizada no século XIX e a principios do XX era a caloría (cal), definida como “a cantidade de calor necesaria para elevar a temperatura dun gramo de auga de 14,5 a 15,5 °C á presión de 1 atm”. Hoxe en día, a unidade de enerxía utilizada universalmente é a do S. I.: o Joule ou Xulio (J).

A caloría empregada por físicos e enxeñeiros é equivalente a 4,184 J. No contexto da nutrición, sen embargo, cando se fala de calorías, refírese en realidade ás quilocalorías (a veces chamadas “calorías grandes”).

Os “valores enerxéticos” dos alimentos veñen dados en “calorías grandes”. Dado que polo xeral non se coñece a composición exacta dos alimentos, os datos soen expresarse en cal/g en troques de cal/mol.

A. A que se deben as diferenzas que observas entre os datos de “valores enerxéticos” para os diferentes alimentos?

B. Cres que os datos de “contido enerxético” dos alimentos nos axudan a seleccionar os alimentos axeitados para unha dieta saudable?

D. Despois da intervención do profesor, variaron algunhas das túas observacións e das túas explicacións? Se así foi, describe detalladamente cales variaron e en que.

Cadro XIX: actividade da secuencia “Termoquímica”

5.- AGRADECEMENTOS:

Á *Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI)*, polo proxecto de investigación A/011181/07: *“Relación entre investigación educativa, práctica docente y dificultades de aprendizaje. Diseño e implementación de secuencias de enseñanza en Ciencias Experimentales y Matemática”*.

6.- BIBLIOGRAFÍA

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., e Deleeuw, N. From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 1994, vol. 4, p. 27–43.

Díaz, J. e Jiménez, M.P. Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique*, 1999, vol. 20, p. 9-16.

Domínguez, J.M. (ed.). *Actividades para la enseñanza en el aula de ciencias. Fundamentos y planificación*. Santa Fe (Argentina): Ediciones UNL, Secretaría de extensión, Universidad Nacional del Litoral, 2007.

Domínguez, J.M. e Pro, A.; García-Rodeja, E. Esquemas de razonamiento y de acción de estudiantes de ESO en la interpretación de los cambios producidos en un sistema material. *Enseñanza de las Ciencias*, 2003, vol. 21, nº 2, p. 199-214.

García de Cajén, S. *Perfiles argumentativos sobre la transformación de la energía eléctrica en una resistencia óhmica. Currículo, libros de texto y profesorado*. Tesis de Doctorado. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones de la Universidad, 2007.

Johnstone, A.H. Macro and microchemistry. *School Science Review*, 1982, nº 64, p. 377-379.

Ollerenshaw, C. H. e Ritchie, R. *Primary Science. Making it work*. London: David Fulton Publishers, 1997.

Pereira García, I. e Domínguez Castiñeiras, J. M. Problemática de aprendizaje de la Termodinámica Química. Actas dos *XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Editorial: Editorial Universidad de Almería, 2008, p. 732-751. ISBN: 978-84-691-5088-7.

Sánchez, G. e Valcárcel, M.V. Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, vol. 11, nº 1, p. 33-44.

Rumelhart, D.E. e Ortony, A. La representación del conocimiento en la memoria. *Infancia y Aprendizaje*, 1982, vol. 19-20, p. 115-118.

Shayer, M. e Adey, P. *La Ciencia de Enseñar Ciencias*. Madrid: Narcea, 1986.

XUGA. Decreto 126/2008, do 19 de Xuño, polo que se establece a ordenación e o currículo do Bacharelato da Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, nº 120, p. 12.183, 23 de Xuño de 2008.