

## A SEMANA DA CIENCIA NAS ESCOLAS PROVAL

S. Rodríguez Muñoz<sup>a</sup>, J. Fernández Rodríguez<sup>a</sup>, J.A. Ansín Agis<sup>a</sup>

A. Lago Rodríguez<sup>b</sup> e B. Vázquez Dorrió<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *I.E.S. Escolas Proval, Avda. de Portugal 171, E36350 Nigrán- Pontevedra.*

<sup>b</sup> *Instituto de Estudos Miñoranos, Apdo 30, E36380 Gondomar-Pontevedra.*

<sup>c</sup> *Dpto. Física Aplicada, ETSE de Minas, Universidade de Vigo, Lagoas-Marcosende 9, E36200 Vigo.*

Resumen: Os centros interactivos constitúen unha importante fonte de motivación e aprendizaxe da Ciencia. Como unha ferramenta docente máis, montouse un pequeno centro de ensino informal nunha escola, nun proceso no que profesores e alumnos realizaban as tarefas correspondentes de forma coordinada e cooperativa. Neste traballo presentamos os resultados máis salientables relacionados coa metodoloxía empregada, a descrición do proceso de creación, deseño e implementación da actividade e o grao de cumprimento de obxectivos analizado mediante enquisas realizadas a unha mostra salientable dos máis de medio millar de persoas que visitaron o noso centro interactivo.

### 1. INTRODUCCIÓN.

A aprendizaxe da Ciencia, como proceso continuo, necesita reforzar os contidos adquiridos no ensino formal con traballos adicionais, xa que moitas veces este redúcese á mera colección de feitos, discusións dirixidas e actividades ocasionais [1]. Por outra parte, é ben coñecido que a aprendizaxe científica-tecnolóxica ocorre tamén fora do ámbito docente a través das experiencias cotiás, e que esas experiencias inflúen de forma moi importante no noso coñecemento e actitude ante a Ciencia [2,3]. Neste último caso, existen evidencias de que as actividades manipulativas conducen a unha mellor comprensión que a proporcionada por mera observación [4] e semella, por tanto, que é necesario o emprego de modelos alternativos asumindo unha perspectiva constructivista baseada na adquisición de coñecemento conceptual a través da experiencia, promovendo unha actitude positiva respecto a Ciencia mediante a exploración en diferentes ámbitos de aprendizaxe [5]. Neste contexto constructivista, resultan de suma importancia os coñecementos previos, as concepcións alternativas e a natureza individual, sendo o proceso complementario dos contidos.

No debate existente sobre como deben ser as mellores estratexias para facer máis accesible a Ciencia, os centros interactivos xogan un papel importante nun contexto de aprendizaxe informal, que ofrece ademais a oportunidade de facilitar a actualización ao público en xeral e establecer pontes entre a Ciencia e a Educación [6]. Os centros interactivos dan a oportunidade de conectar conceptos teóricos e prácticos e amosan a Ciencia relacionando aplicacións cotiás a través dunha pequena investigación persoal semiguada [7,8]. Como entornos de aprendizaxe dinámico [9] proporcionan un marco rico e estruturado onde adquirir coñecementos científico-tecnolóxicos sen as restricións típicas do ensino formal, onde nunha actividade non secuencial, as eleccións dos participantes son múltiples e variadas de acordo cos seus intereses e impulsos e o profesor perde a súa función de regulador ou avaliador. Unha das súas misións é o aumento de comprensión e achegamento á Ciencia, aínda que o habitual é o enfoque maioritario nos seus produtos en detrimento da natureza do proceso científico.

A nosa proposta consistiu en exportar [10,11] con todas as súas limitacións e inconvenientes, este entorno de aprendizaxe informal a un centro docente tradicional, nun proceso no que profesores e alumnos realizaran as tarefas correspondentes de forma coordinada e

cooperativa, coa idea fundamental de que é posible dar unha visión axeitada da natureza da Ciencia a todo tipo de audiencia, independentemente da súa idade e procedencia. A montaxe dun pequeno centro interactivo denominado “Ciencias nas Mans” [12] levouse a cabo durante a última semana de Abril do 2005 no Instituto de Ensino Secundario “Escolas Proval” de Nigrán, organizado polos seus seminarios de Física-Química, Bioloxía-Xeoloxía e Tecnoloxía, coa colaboración do Departamento de Física Aplicada da ETSE de Minas da Universidade de Vigo e do Instituto de Estudos Miñoranos, así como os alumnos e alumnas de 4º ESO (actuando como monitores) e todo elo como parte do proxecto “Hands on Science” [13] do programa europeo Sócrates/Comenius (110157-CP-1-2003-1-PT-COMENIUS-C3). Neste traballo presentamos os resultados máis salientables relacionados coa metodoloxía empregada, a descrición do proceso de creación, deseño e implementación da actividade e o grao de cumprimento de obxectivos analizado mediante enquisas realizadas a unha mostra salientable dos máis de medio millar de persoas que visitaron o centro interactivo.

## 2. APRENDIZAXE INFORMAL NA ESCOLA.

O centro interactivo que foi montado nas dependencias da escola, podería considerarse como un museo de terceira xeración, dentro das clasificacións tipolóxicas de museo [14], no cal un conxunto disperso de conceptos descontextualizados preséntanse agrupados en varios grupos temáticos, co obxectivo primordial de amosar unha visión interdisciplinaria e amable da Ciencia, avivar o afán de aprender, conectar a aprendizaxe informal cos contidos da aula, aportando ademais un valioso complemento experimental, así como darlles aos alumnos a posibilidade de construír relacións e comprender o seu mundo cotiá a través dunha mestura de exploración, manipulación física e experimentación.



Foto 1. Selección de experiencias.



Foto 2. Panel autoexplicativo.

A exposición [15] consistiu en 50 módulos interactivos facilmente reproducibles, feitos con materiais de doada adquisición e baixo custo, algúns deles mesmo de refugallo (latas de refresco baleiras, botes de iogur, etc.), outros que habitualmente existen nos laboratorios dos centros escolares, e outros elaborados por alumnos e profesores. O emprego de obxectos (Foto 1) familiares e sinxelos permitía aos visitantes comprender en pouco tempo a natureza da actividade correspondente, evitando estímulos distractores e activando a curiosidade dos participantes. Os módulos, divertidos e estimulantes, eran robustos e facilmente manipulables para calquera idade e formación e tentaban representar pequenas investigacións máis que meras verificacións conceptuais. Nestas experiencias estaba implícita a construción de novos significados e interpretacións de como funciona a Ciencia e como afecta as nosas vidas cotiás.

Cada módulo estaba acompañado dun panel autoexplicativo (Foto 2) que, baixo un título rechamante, contiña breve información escrita e visual sobre como usalos, indicacións sobre posibles aplicacións dos contidos e algunhas cuestións provocadoras que tentaban causar nos participantes unha reconsideración dos seus modelos mentais, buscando conexións cos contidos da aprendizaxe formal que non eran evidentes como paso previo imprescindible para a recopilación de nova información. Evitáronse explicacións complexas, instrucións difíciles ou montaxes moi sofisticadas que puideran inhibir ao posible participante da exploración sen axuda. A información proporcionada era lúdica e atractiva para acadar a maior e mellor atención dos visitantes, e relacionada de algunha forma coas experiencias previas dos participantes. Todo elo requiría unha certa implicación intelectual que evitaba a trivialización do que se pretendía mostrar. Máis que aprender, os alumnos eran estimulados a indagar máis e a desenvolver unha situación para que explorasen a súa maneira e por si mesmos, inducendo si era posible a posterior realización de actividades similares pola súa conta.



Foto 3. O centro interactivo funcionando.

A exposición estaba inicialmente ideada para atender simultaneamente á redor de 50 alumnos (un por cada experimento). Nos días sucesivos comprobamos que o espazo permitíanos atender a cerca de 70 alumnos sen dificultades nin aglomeracións (Foto 3). Os alumnos visitantes podían dirixirse a calquera das experiencias sen ningunha orde preestablecida, pasando dunhas a outras aleatoriamente sendo o máis recomendable seleccionar as que máis lles puideran convir de acordo cos seus intereses, tal e como se faría nun centro interactivo convencional.

Aínda que a visita á exposición podía levarse a cabo de modo autoguiado, moitas das prácticas (pero non todas) estiveron permanentemente atendidas por case medio centenar de alumnos monitores dos cursos de 4º ESO (cunha idade media 16 anos) do propio Instituto que servían de guía ou mediador e proporcionaban pautas metodolóxicas para a comunicación cos visitantes, promovían alternativas as actividades espontáneas dos visitantes ou realizaban os axustes necesarios cando facía falta. Nos meses previos á exposición estes monitores foron instruídos en tódalas experiencias, de xeito que sabían manipularlas e ofrecer explicacións científicas sobre as mesmas. Hai que salientar que ao redor do 50 % destes alumnos non cursaban nin Física–Química nin Bioloxía–Xeoloxía, e a pesares diso o seu traballo foi excelente, a xulgar por moitos visitantes adultos. Ó longo dos días que durou a exhibición, os monitores cambiaron con frecuencia dunhas experiencias a outras. Para non cansalos en exceso e evitar que perderan demasiadas clases das restantes disciplinas, os monitores dos grupos atenderon a exposición en días alternos.

Os visitantes presentaban unha gran variedade de motivacións, preferencias e intereses respecto á aprendizaxe, sendo na súa meirande parte público cautivo correspondente a estudantes de centros de ensino que realizaban a visita como parte das súas actividades extraescolares. A exposición estivo aberta e en funcionamento en catro xornadas matinais e unha tarde de portas abertas para pais e comunidade en xeral, cunha participación aproximada neste último caso de aproximadamente 50 persoas. Cada mañá fixemos dúas sesións de dúas horas cada unha cun pequeno descanso intermedio. Asistiron tódolos alumnos do Instituto Proval; un total de 350, aproximadamente. Tamén invitamos ós colexio de primaria do concello de Nigrán e ós Institutos de Bachalerato da comarca do Val Miñor (concellos de Nigrán, Gondomar e Baiona); totalizando 230 alumnos aproximadamente. Previamente facilitouse aos profesores acompañantes un caderno guía de 64 páxinas a cor coa reprodución dos paneis autoexplicativos de cada unha das experiencias manipulativas co fin de preparar a asistencia ao centro interactivo.

### **3. AS EXPERIENCIAS MANIPULATIVAS.**

Os módulos foron deseñados co obxectivo de proporcionar a aprendizaxe significativa dun tópico científico-tecnolóxico concreto mediante a súa visualización ou materialización, aínda que moitas veces amosaban múltiples conceptos relacionados. Por outra parte, a súa natureza de libre elección facía que as veces os visitantes fixeran cousas inesperadas. O emprego didáctico destas experiencias manipulativas constitúe un aspecto a través do cal é posible valorar a dimensión social da aprendizaxe buscando: comunicar o significado da ciencia e incrementar a súa comprensión, aumentar o gozo no proceso de aprendizaxe e lograr unha participación e implicación activa maior. Ao involucrar a alguén activamente con estas actividades a través dos seus sentidos, estímase os seus recordos e o afán por descubrir. Poden contribuír así mesmo a un maior coñecemento da Ciencia e constitúen un bo complemento a outras actividades xa que non imprimen un carácter docente, si non máis ben lúdico ou participativo. Estas experiencias manipulativas non só aumentan a curiosidade, senón tamén dan a oportunidade de autoimplicación, relacionando os contidos cun significado persoal.

Existen na bibliografía unha innumerable cantidade de experiencias manipulativas [16] que poden ser empregadas nunha actividade como a que aquí se presenta. Logo dunha pormenorizada revisión decidiuse facer unha selección das mesmas atendendo aos criterios anteriormente expostos, agrupando as mesmas en sete grandes bloques temáticos representativos do carácter interdisciplinario da Ciencia e con forte vinculación cos contidos formais que habitualmente recibían os estudantes. Estas foron:

a) Dinámica [17,18,19]: Balón e pelota (conservación do momento lineal); ¿Cal chega antes? (problema da braquistócrona); Centro de gravidade (equilibrio); Cono e cilindro rodantes (autoregulación); ¿Sobe ou baixa? (movemento do cdg); Péndulo pivotado (conservación da enerxía mecánica); Péndulos acoplados (resonancia); Roda da bici (momento angular de rotación); Rodas non redondas (corpos de anchura constante); Coche con rodas cadradas (roda cadrada + chan cicloide = altura constante)

b) Biología–Xeoloxía [20,21]: Bolboretas (adaptación ó medio); Células e seres vivos (cloroplastos en Elodea); Cinco reinos (facendo parellas nos cinco reinos dos seres vivos); ¿Es daltónico? (proba do daltonismo); Contar formigas (como estimar unha poboación); Panxea (o movemento dos continentes); Planta no labirinto (fototropismo); Punto cego do ollo (buscando); Rochas e minerais (coas súas aplicacións); Volcán (simulación dunha erupción).

c) Electromagnetismo [18,21,22]: Cae un imán (correntes de Foucault); Globo eléctrico (electrostática); Imáns oscilantes (correntes inducidas); Soa o móbil? (gaiola de Faraday).

d) Termodinámica [18,20]: Calor e traballo (máquina de Hero); Correntes de convección (calor e convección de fluídos); Efectos da calor (termoelectricidade e dilatación diferencial); Iogur con memoria (recuperación da forma inicial dun plástico sometido a calor); Queimar un papel (conducción da calor).

e) Fluídos [19, 20, 23]: Aerosol (efecto Venturi); Baleirar sen tocar (presión nos gases); Estoupa un globo (presión); ¿Flotan as pedras? (densidades relativas); Infla o globo (presión atmosférica); Lata de refresco (presión atmosférica); Ludión (flotabilidade); Separar esferas (efecto Venturi).

f) Química [18,20]: ¿Conduce a auga a corrente? (ións acuosos); ¿Arde un metal? (combustión de magnesio); Auga, hidróxeno e osíxeno (electrólise da auga); Batería de chumbo (xerador eléctrico); Carbón de azucre (deshidratación da sacarosa); Lume sen mistos (oxidación violenta do alcohol); Pila humana (electroquímica).

g) Percepción visual [24,25]: Infinito (reflexión múltiple da luz); Círculos brancos; Círculos móbiles; Falta un cadro (ilusión matemática); Liñas paralelas; Patróns Moiré (interferencia xeométrica); Puntos caóticos; Centro do triángulo.

#### **4. AVALIACIÓN DA ACTIVIDADE.**

É difícil avaliar o impacto concreto dunha actividade de este tipo cun público tan heteroxéneo e diverso e na que existen tantas variables [26]. Para elo necesítase polo menos realizar unha recollida de datos previa, durante e posterior á actividade. Por outra parte, unha estratexia que tente avaliar os contidos científicos adquiridos durante a visita semella errónea, xa que parece establecido que non se absorbe coñecemento dunha única fonte. Así pois, deseñouse unha enquisa con trece cuestións, case todas elas de elección múltiple, que permitira recoller información para valorar parámetros cuantificables como idade, sexo, interese suscitado pola actividade, grao de comprensión das experiencias propostas, relación coa vida cotiá, dispoñibilidade para a participación e nivel de experiencias previas neste tipo de actividades, como público cautivo ou por iniciativa propia. Entre os parámetros cualitativos incluíronse cuestións de preferencia e de exclusión por unha actividade concreta, así como o motivo de esta última elección, de entre catro motivos posibles: demasiado evidente, non a entendín, aburrida ou non funcionaba. Cada unha de estas causas de exclusión supón un determinado conxunto de deficiencias en col do plantexamento teórico da actividade, resultando unha ferramenta moi útil en relación ao reforzo de coñecemento, novidade, curiosidade e carga lúdica. As enquisas foron repartidas entre os estudantes de idades comprendidas entre 11 anos e máis de 20, de varios centros que visitaron a exposición como parte das súas actividades extraescolares.

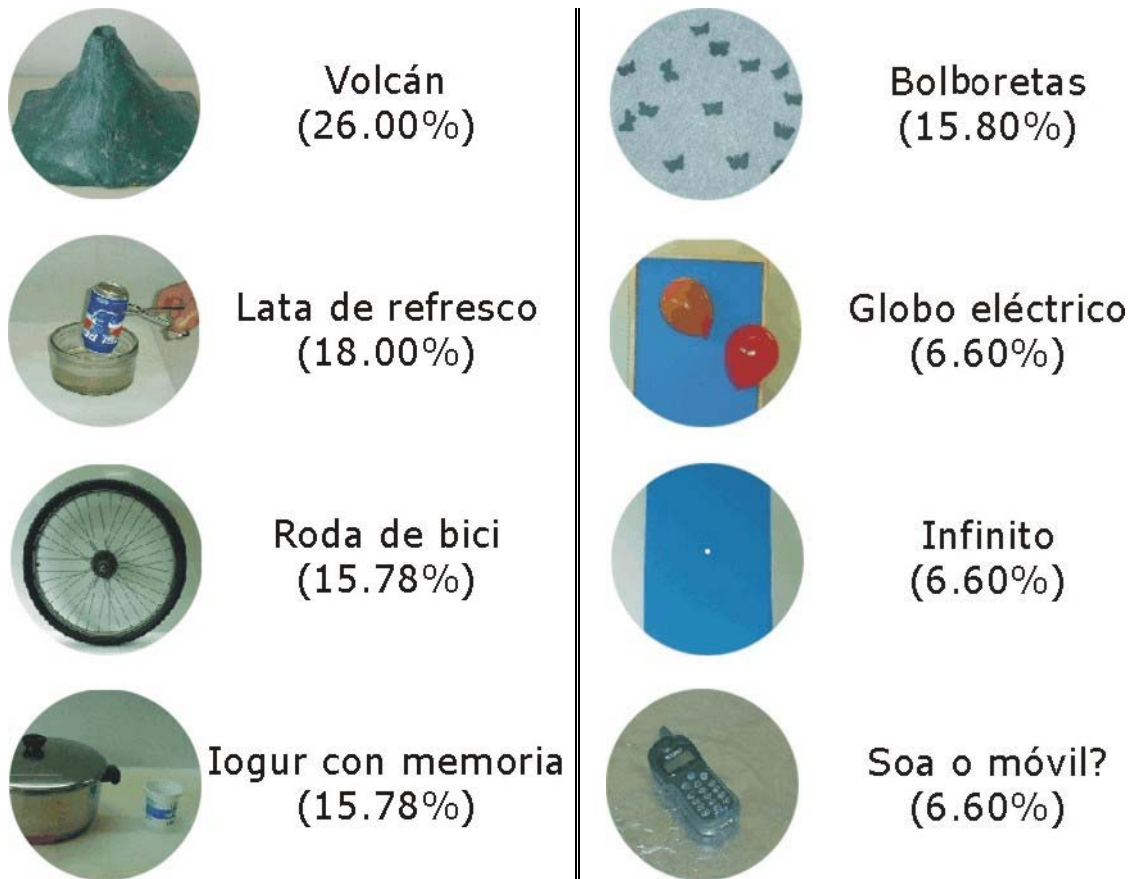
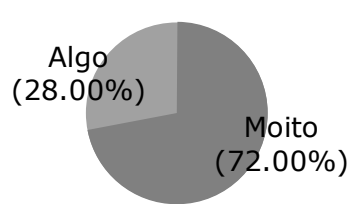


Foto 3. As actividades mellor valoradas (esquerda) e menos aceptadas (dereita) cos seus porcentaxes de aceptación.

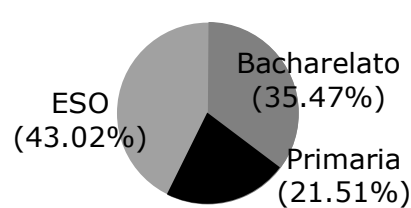
O grao de interese dos contidos foi analizado mediante unha cuestión que aceptaba como posibles respostas moito, algo ou nada. A valoración xeral que se obtén (Gráfica 1), sinala un altísimo porcentaxe de interese, evidenciado en primeiro termo polo feito de que non se rexistrou ningunha resposta negativa, sendo ademais o 72.00% que recoñece moito interese polos contidos do centro interactivo. Por tanto, a proposta temática teórica resultou de gran interese ao público ao que se dirixiu (Gráfica 2), aínda que nunha moi alta porcentaxe representara a súa primeira experiencia deste tipo, ben como parte das actividades extraescolares dos seus centros (Gráfica 3) ben como actividades de ocio libremente escollidas pola súa conta (Gráfica 4), o que xustifica de por si a realización de actividades como esta. En canto ás causas de ese interese, tendo en conta que se trata de público en formación, semella que a proximidade dos contidos é un factor relevante. Outras causas poden estar no grao de comprensión acadado durante a visita. Esta cuestión era tamén directamente plantexada na enquisa con posibles respostas de sí, non, apenas, gran parte ou unha mínima parte (Gráfica 5). Ningunha das respostas manifestou a non comprensión dos contidos, só un 7.00% das respostas reflicten un baixo nivel de comprensión fronte a un 93.00% que manifesta un elevado ou moi alto nivel de comprensión. Son moitos os factores que inflúen no grao de comprensión dunha experiencia didáctica informal: a relación cos contidos formais das actividades seleccionadas, a propia montaxe das experiencias ou o método de transmisión, desde o axente elixido para que sirva de vehículo da mensaxe ata o modo en cómo se transmite. Neste senso, xa comentamos o papel fundamental desempeñado polos alumnos monitores do centro, previamente instruídos para desempeñar este papel esencial.



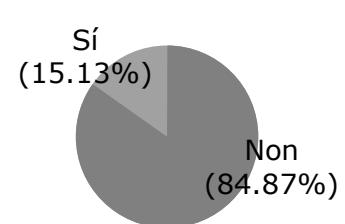
O aspecto relativo aos vínculos que no centro interactivo establécense coa experiencia cotiá dos participantes está directamente relacionado co interese e comprensión da actividade, de forma que o éxito de estes dous últimos parámetros depende en gran medida da axeitada conexión da temática divulgada coa vida cotiá e as propias experiencias do público ao que se dirixe. A Gráfica 6 amosa que o 64.00% asegura que as actividades lles lembran accións ou fenómenos que ocorren na vida cotiá, mentres que o 36.00% non sabe ou non atopa claramente esa relación. Certamente a ampla porcentaxe dos visitantes que contestou afirmativamente corresponde a un valor elevado e satisfactorio, fronte a pouco máis dun tercio que non puideron establecer relacións co cotiá.



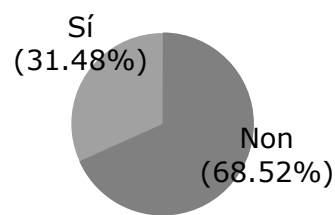
Gráfica 1. Interese dos contidos.



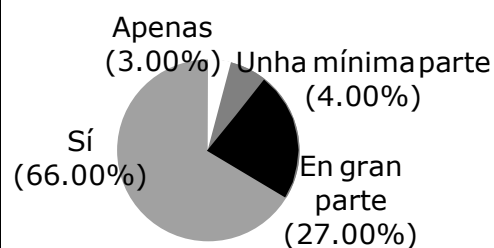
Gráfica 2. Distribución do público.



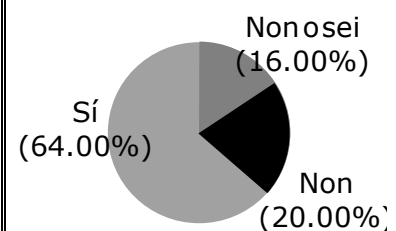
Gráfica 3. Visitas a centros interactivos coa túa escola.



Gráfica 4. Visitas a centros interactivos pola túa conta.



Gráfica 5. Grado de comprensión das actividades manipulativas.



Gráfica 6. Relación coa vida cotiá.

A opinión xenérica sobre as experiencias manipulativas que se presentaban no centro interactivo manifestábase mediante a elección axeitada dunha serie de cualificativos (Gráfica 7). Cabe sinalar que á maioría parecerónlles interesantes (30.00%), divertidas (15.00%) ou sorprendentes (12.00%), xunto cun 22.00% que recoñecen que melloran os coñecementos, resposta esta última que reforza a cuestión anterior da relación coa experiencia do individuo. Neste apartado é significativo a baixa valoración que en xeral faise do aspecto novidoso das actividades fronte as outras opcións.

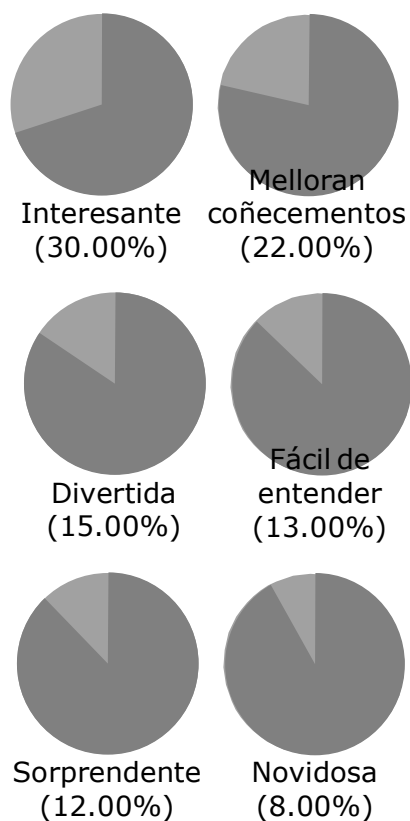
A proposta de organizar actividades semellantes nos propios centros de ensino (Gráfica 8) aparece como unha proposta moi atractiva para unha altísima porcentaxe de enquistados que se mostrarían interesados (75.60%) fronte ao 6.00% que non estarían interesados e un 18.40% de indecisos.

Os parámetros cualitativos insertos na enquisa son empregados para facer unha valoración xeral do conxunto das actividades manipulativas amosadas na exposición. Para elo solicitábase que se elixira a actividade que máis gustara e a que menos, e nese último caso, sinalando o motivo de exclusión. Do conxunto de 50 actividades resulta un grupo de actividades que máis gustaron e que representa o 45.00% (Foto 4), sendo un 7.50% os que manifestan que lles gustaron todas. Doutra banda, o conxunto de actividades sinaladas por

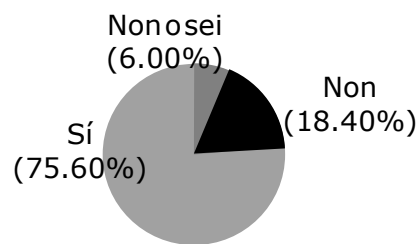
gustaren menos é máis amplo e variado, aínda que as preferencias tamén nesta ocasión vanse centrar nun grupo que acadara as porcentaxes máis parellas. Neste último caso (Gráfica 9), a razón maioritaria para a súa desconsideración é o seu carácter aburrido (50.00%) ou evidente (29.00%) e en menor medida o seu mal funcionamento (9.00%) ou a falta de comprensión (9.00%).

## 5. CONCLUSIÓNS.

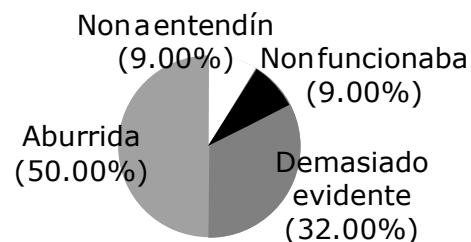
A actividade realizada tentaba amosar que a Ciencia pode ser algo interesante, excitante e fácil de entender, situando a importancia da Ciencia na vida cotiá e como algo que pode ser beneficioso, poñendo ao estudante nunha posición activa e crítica de aprendizaxe: experimentando, facendo hipóteses, interpretando e sacando conclusións. Tentando transmitir ao mesmo tempo que o coñecemento científico é básico para calquera no actual mundo tecnificado. Semella que o público considerou que a exposición foi unha fonte útil de información, que mostraba aplicacións cotiás da Ciencia e que algo novo podía aprenderse dela. Aínda que a visita tiña unha duración curta, semella que os visitantes tiveron unha experiencia positiva, sendo outro paso adiante de cambio na súa relación coa Ciencia. O entusiasmo amosado polos participantes durante a experiencia constitúe de por si un importante logro da mesma.



Gráfica 7. Opinión sobre as actividades.



Gráfica 8. Disposición a participar.



Gráfica 9. Xustificación de rexeitamento dalgunha das actividades manipulativas.

## 6. AGRADECIMENTOS.

Agradécese a axuda prestada por os alumnos monitores e os compañeiros do I.E.S. Escolás Proval e do Instituto de Estudos Miñoranos. Así mesmo agradécese o financiamento dos



Concellos de Nigrán, Gondomar e Baiona e da rede “Hands-on Science” (110157-CP-1-2003-1-PT-COMENIUS) do programa Socrates/Comenius da UE.

## REFERENCIAS.

- [1] Kelly J. Rethinking the elementary science methods course: a case for content, pedagogy and informal science education. *International Journal of Science Education* 2000. 22: 755-77.
- [2] Rennie LJ. The communication of science and technology: past, present and future agendas. *International Journal of Science Education* 2003. 25: 759-73.
- [3] Dierking LD, Falk JH, Rennie LJ, Anderson D, Ellenbogen E. Policy statement of the “Informal Science Education” Ad Hoc Committee. *Journal of research in Science Teacher* 2003. 40:108-11.
- [4] Maxwell LE, Evans GW. Museums as learning settings: The importance of the physical environment. *Journal of Museum Education* 2002. 27: 3-7.
- [5] National Research Council. *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academic Press. 1996.
- [6] Rennie LJ, Williams GF. Science centres and scientific literacy: promoting a relationship with science. *Science Education* 2002. 86: 706-26.
- [7] Quin M. What is hands-on science, and where can I find it? *Physics Education* 1990. 25: 243-6.
- [8] Wellington J. Formal and informal learning in science: the role of the interactive science centres. *Physics Education* 1990. 25:247-52.
- [9] Barab SA, Karns D. Rethinking methodology in the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences* 2001. 10: 5-15.
- [10] Boone WJ, Roth MK. Organizing school science shows. *The Physics Teacher* 1992. 30: 348-50.
- [11] Jones B. The little shop of Physics. A just-in-time science museum. *The Physics Teacher* 1996. 34: 514-8.
- [12] <http://webs.uvigo.es/h-sci/provalg.htm> [06/10/2005]
- [13] <http://www.hsci.info/> [06/10/2005]
- [14] McManus PM. Topics in museums and Science education. *Studies in Science Education* 1992. 20: 157-82.
- [15] Allen S. Designs for learning: studying science museum exhibits that do more than entertain. *Science Education* 2004. 88: 16-33.
- [16] Dorrió BV, Rúa A, Soto R, Arias J. *Hands-on Physics Bibliography. Teaching and Learning Science in the XXI Century*, S. Divjak Ed., Ljubljana: Faculty of Computer and Information Science. 1-9. 2004.
- [17] Doherty P, Rathjen D. *The spinning blackboard*. New York: Wiley. 1996.
- [18] Freier GD, Anderson FJ. *A demonstration handbook for Physics*. Minnesota: AAPT. 2002.
- [19] Rathjen D, Doherty P. *Square wheels*. San Francisco: Exploratorium. 2002.
- [20] UNESCO. *700 Science experiments for everyone*. New York: Doubleday. 1962.
- [21] Ardley N. *101 Great Science Experiments*. London: Dorling Kindersley. 1994.
- [22] Doherty P, Rathjen D. *The cool hot rod*. New York: Wiley. 1996.
- [23] Cunningham J, Herr N. *Hands-on physics activities with real-life applications*. San Francisco: Wiley. 1996.
- [24] Doherty P, Rathjen D. *The Cheshire cat*. New York: Wiley. 1996.
- [25] Doherty P, Rathjen D. *The magic wand*. New York: Wiley. 1996.
- [26] Falk J. The director’s cut: toward an improved understanding of learning from museums. *Science Education* 2004. 88: 83-96.