

Guaitant l'invisible

Anàlisi de l'efectivitat de les activitats amb detectors MiniPIX per dissipar els errors de concepte dels estudiants de secundària respecte la radioactivitat i la radiació ionitzant

Daniel Parcerisas

d.parcerisas@safagava.edu

Índex

- Introducció
- Detectores MiniPIX en Educació
- Errors de concepte dels estudiants
- Són importants?
- Errors de concepte sobre la radioactivitat i la radiació
- Perquè apareixen?
- Com poden ajudar els MiniPIX?
- Activitats: L'estructura de la matèria i Mesura del Radó
- Metodologia de la recerca
- Resultats
- Conclusions

Introducció



Idea inicial: reunió de la Timepix Teachers Network (TTN) at CERN



Quines de les característiques del MiniPIX podrien corregir els errors de concepte dels estudiants?



Recerca Prèvia



Disseny de l'activitat



Realització i recollida de dades



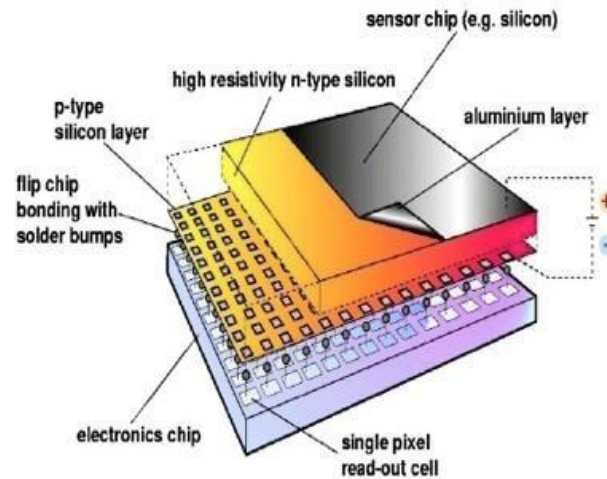
Avaluació

Detectors MiniPIX en Educació

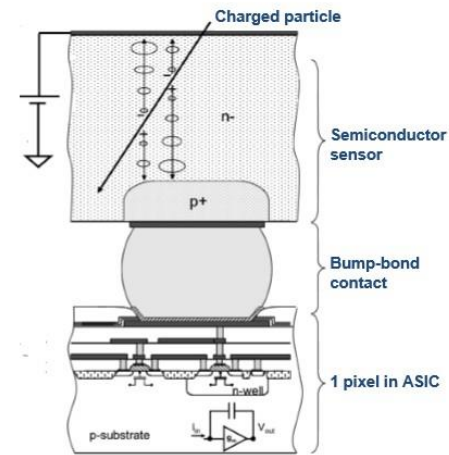
- Dissenyats al CERN
- Implementació d'ADVACAM



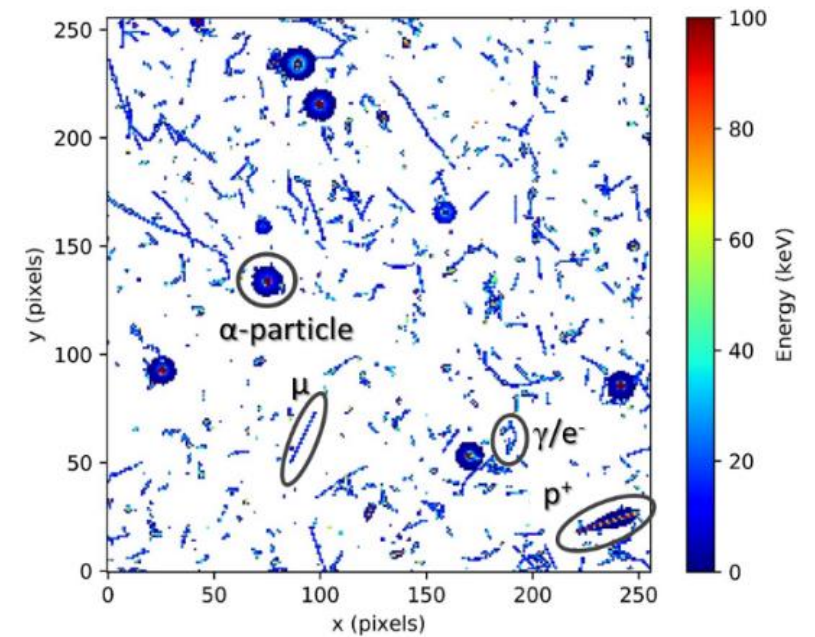
USB MiniPIX EDU



Capa de sensor i electrònica



Detall d'un píxel híbrid



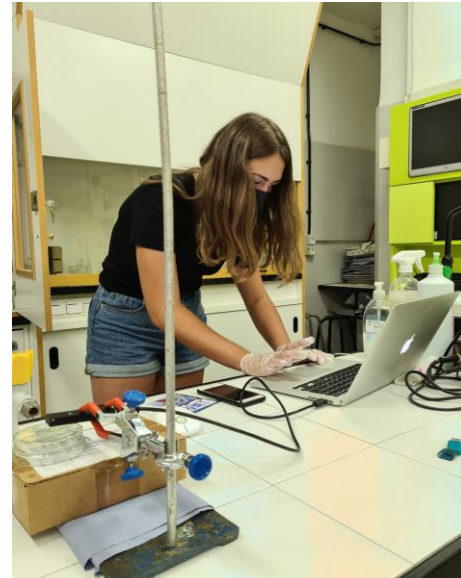
Mesura de la radiació de fons

Detectors MiniPIX en Educació

- Educant desde 2007: cern@school
- Diverses iniciatives al llarg d'Europa
- TTN presentada a GIREP22 a Ljubljana



Simon Langton School, Canterbury, England




Alumnat del Projecte ADMIRA realitzant experiments de radioactivitat i radiació

Mapa del TTN amb el MiniPIX

Els errors de concepte de l'alumnat

Força estudis sobre les dificultats de l'alumnat per entendre conceptes científics durant els 80 i 90



Caracteritzades de diverses maneres: errors de concepte, marcs alternatius, creences intuïtives, preconcepcions, raonaments espontanis,...



“...coneixements o raonaments erronis o no científics dels estudiants, causats principalment per la mala comprensió de la matèria”


Són importants?

Les preconcepcions de l'alumnat afecten fortament el procés d'aprenentatge.

Si el professorat és conscient dels errors de concepte de l'alumnat podrà entendre les seves dificultats.

No tenir-les en compte, podria incrementar el desinterès de l'alumnat per les explicacions científiques.

Conceptions of high school students on atomic models, radiation and radioactivity

P S S Cardoso, M C S Nunes, G P S Silva, L S Braghittoni and N M Trindade 

Department of Physics, Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo (IFSP), São Paulo, Brazil

E-mail: ntrindade@ifsp.edu.br



CrossMark

International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE), Volume 9, Issue 1, March 2018

Exploring Teachers' Understanding about Misconceptions of Secondary Grade Chemistry Students

Anam Ilyas, Muhammad Saeed
*University of the Punjab
Pakistan*

JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING

VOL. 29, NO. 6, PP. 611–628 (1992)

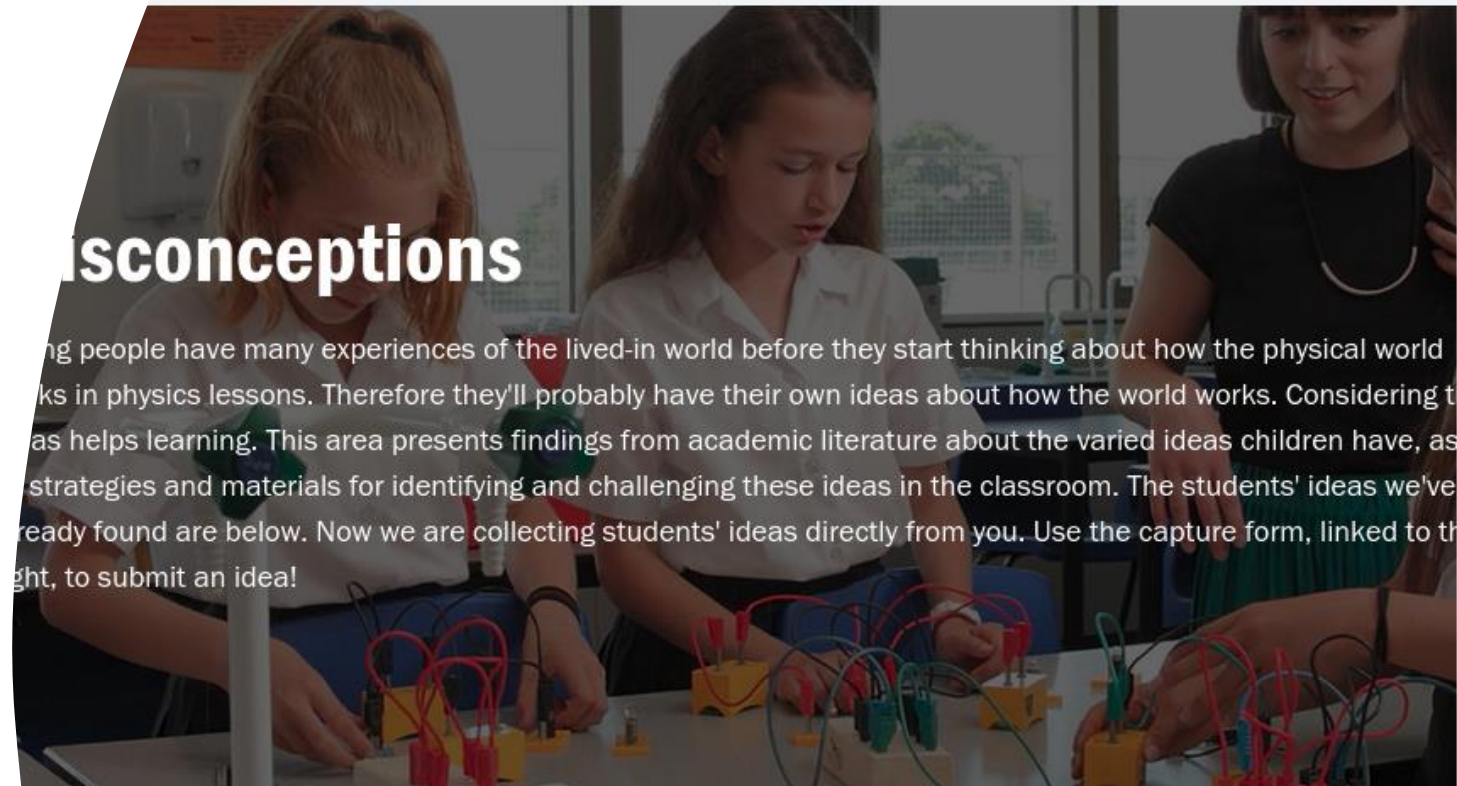
Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules

Alan K. Griffiths and Kirk R. Preston

Department of Curriculum and Instruction, Memorial University of Newfoundland

Errors de concepte sobre la rad.

- L'Institute Of Physics ha recollit moltes creences i errors de concepte diferents.
- S'han recollit aquelles relacionades amb la radiació ionitzant i la radioactivitat
- S'ha fet un estudi de la seva adequació per ser explicades amb les càmeres MiniPIX



Browse by Domain

Everything

All Domains

All Ages

Errors de concepte sobre la rad.

- S'han seleccionat 9 errors de concepte per a la seva anàlisi.
- 1 descartat (1 període redueix massa-volum a la meitat)
- 3 classes diferents:
 - Fonts i origen: E1, E2, E3
 - Riscos i aplicacions: E4, E5, E6
 - Naturalesa: E7, E8, E9

Errors de concepte

E1. L'alumnat confon la naturalesa de la radiació en general i pensa que és artificial

E2. L'alumnat pensa que la radiació (ionitzant) prové només de les centrals nuclears.

E3. L'alumnat creu que només els nuclis grans poden ser radioactius.

E4. La visió de l'alumna sobre els riscos de la radiació i els materials radioactius es basa més en informació quotidiana que en idees científiques.

E5. L'alumnat és conscient que la radiació pot causar càncer, però pocs coneixen les seves aplicacions pràctiques.

E6. L'alumnat veu la radiació ionitzant (i possiblement la radiació en general) com a perillosa per la salut.

E7. L'alumnat no és capaç de distingir entre radiació ionitzant i no-ionitzant i molts no pensen en la llum com a radiació.

E8. L'alumnat no distingeix clarament entre irradiació i contaminació d'un objecte.

E9. Confusió entre els conceptes de radioactivitat i radiació.

Per què apareixen?

- S'ha analitzat la investigació dona suport a aquestes idees.
- Principals treballs
 - Millar (1994)
 - Boyes & Stanisstreet (1994)
 - Rego & Peralta (2006)
 - Neumann and Hopf (2012)
- **Es produeixen per la naturalesa del fenomen i per la informació transmesa.**

Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers

Edward Boyes ^a & Martin Stanisstreet ^a

^a Environmental Education Research Unit , University of Liverpool

Published online: 03 Aug 2006.

Portuguese students' knowledge of radiation physics

Florabela Rego¹ and Luis Peralta²

¹ Escola Secundária de Alcácer do Sal, Portugal

² Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Portugal

School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation

Robin Millar

Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students

Author(s): Susanne Neumann and Martin Hopf

Source: *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 21, No. 6 (DECEMBER 2012), pp. 826-834

Per què apareixen?

- **Naturalesa del fenomen**

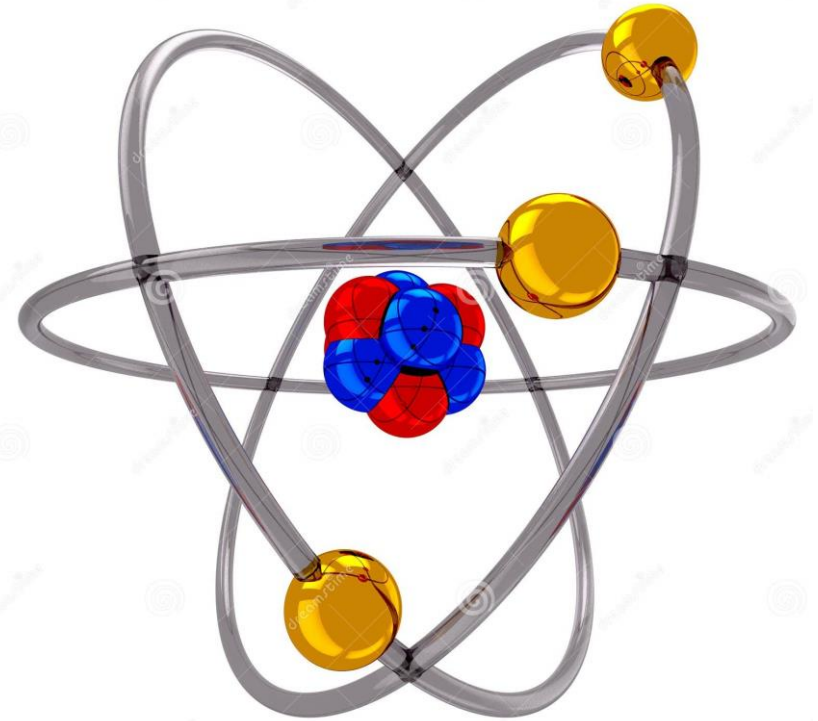
- C1. La radiació és imperceptible
- C2. És un fenomen natural sense experiència directa
- C3. Procés estocàstic
- C4. L'avaluació dels perills requereix l'estimació d'un risc estadísticament acumulatiu
- C5. Es necessita el raonament formal de Piaget per entendre els àtoms



Per què apareixen?

- **Fonts d'informació**

- En molts àmbits, els mitjans generals formen la comprensió de la ciutadania, especialment en la radioactivitat
- Moltes de les imatges de la radioactivitat són violentes, nocives o destructives, sovint relacionades amb armament, perills o catàstrofes.
- L'alumnat utilitza internet com a font de coneixement acadèmic, però moltes de les fonts proporcionen informació incorrecta
- Els llibres i el professorat també s'ha demostrat que poden produir errors de concepte



Com poden ajudar els detectors MiniPIX?

- Visualització de les traces (C1, C2, C3)
- Facilitat d'us: l'alumnat pot centrar-se en entendre que està passant (C3)
- La realització d'experiments podria apropar les vivències de l'alumnat al Nivell de Raonament Concret de Piaget (C2, C5)

	Visual	Fàcil d'usar	Experimental	Sensibilitat
C1. Imperceptible	X			
C2. Sense experiència directa	X		X	X
C3. Procés estocàstic	X	X		X
C4. Risc addicional				X
C5. Raonament Formal			X	

Com poden ajudar els detectors MiniPIX?

- Alta sensibilitat
 - Permet mostrar radiació de fons i fonts comunes (C2)
 - Comprensió de com funciona el risc estadísticament acumulatiu (C3, C4)
- Provocar sorpresa i motivació

	Visual	Fàcil d'usar	Experimental	Sensibilitat
C1. Imperceptible	X			
C2. Sense experiència directa	X		X	X
C3. Procés estocàstic	X	X		X
C4. Risc addicional				X
C5. Raonament Formal			X	

Activitat 1. La lliçó d'Estructura de la Matèria.



Lliçó típica per alumnat de 3r d'ESO



12 h (2 h/setmana)



Llibre de text, presentacions, exercicis



Contingut: estructura atòmica, isòtops i ions, radioactivitat i tipus de radiació, riscos i aplicacions

Química a la xarxa

Els isòtops ens proporcionen la possibilitat de disposar d'àtoms semblants amb masses lleugerament diferents.

A l'enllaç següent, podràs veure més utilitats dels isòtops:

bit.ly/2Sdgiu

En aquest altre enllaç, pots crear i experimentar amb la formació d'isòtops:

bit.ly/2Dw6e9

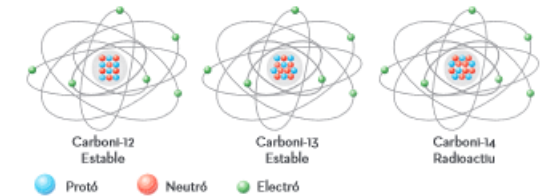
5.2. Isòtops

Dos àtoms amb el mateix nombre de protons i diferent nombre de neutrons, són el mateix element? Sí. Són el mateix element, però en dues versions diferents.

Els àtoms d'un mateix element poden tenir un nombre diferent de neutrons en el nucli. És a dir, tindran diferent nombre màssic.

Per exemple, existeixen àtoms de carboni ($Z = 6$) amb nombres màssics 12, 13 i 14, ja que contenen 6, 7 i 8 neutrons, respectivament, tal com pots veure a la taula:

	Abundància	Aplicacions
Isòtop A = 12	98,9%	S'usa com a patró per calcular la massa atòmica de tots els altres àtoms.
Isòtop A = 13	1,1%	S'empra en estudis de processos metabòlics.
Isòtop A = 14	10^{-12} %	S'utilitza en datació de mostres orgàniques.



Són **isòtops** els àtoms d'un mateix element que tenen diferent nombre de neutrons.

Hi ha **isòtops** que anomenem **naturals** perquè es troben a la Terra. Avui dia en coneixem uns 300. Hi ha 21 elements que no tenen isòtops naturals; per exemple, el fluor, el sodi, el fòsfor, el cobalt i l'or.

També hi ha **isòtops artificials**, creats al laboratori augmentant el nombre de neutrons mitjançant el bombardeig dels nuclis amb partícules amb neutrons.

Molts isòtops són inestables i es desintegren fàcilment emetent partícules amb una certa energia, que es poden detectar amb aparells adequats. Alguns d'aquests isòtops i les seves aplicacions són:

Isòtop	Aplicacions
cobalt-60	Emissor de raigs energètics que s'usen per destruir cèl·lules cancerígenes. Es dirigeixen al centre del tumor perquè no danyin els teixits sans.
tecneci-99	S'empra gairebé en el 80% de les exploracions de diagnòstic de funcionament d'òrgans del cos humà, perquè es combina fàcilment amb fàrmacs que permeten estudiar tumors, desordres del sistema circulatori, estructura interna d'alguns òrgans, etc., gràcies als raigs energètics que emet aquest isòtop.
carboni-14	Serveix per conèixer l'antiguitat de les restes orgàniques d'animals i plantes.

Exemple del contingut del llibre de text

Activitat 2. Mesura del Radó amb un MiniPIX

- 1 h (després de la lliçó estàndard)
- Mesura del Radó capturat amb un globus
- Continguts
 - Detecció indirecta i Inferència (T)
 - Radioactivitat vs Radiació i tipus (T)
 - Captura del Radó (E)
 - Funcionament i aplicacions del detectors MiniPIX i de la radiació (T)
 - Visualització de la radiació de fons (E)
 - Diferències alfa, beta i gamma (E)
 - Fonts de Radiació (T)
 - Mesura del Radó (E)
 - Diferència entre Irradiació i contaminació (E)
 - ~~Blindatge i Risc (E)~~
 - ~~Mesura del plàtan (E)~~



Aplicacions de la radiació ionitzant

Trampa Minipix **APLICACIONS** Traces Radó Protecció Banana!

- Medicina
 - Imatge mèdica per rajos X (simple i TAC), Gammagrafia, Positron Emission Tomography (PET), traçadors i marcadors,...

IRRADIAT CONTAMINAT

Brain tomoscintigraphy

Healthy person Alzheimer sickness

TAC Gammagrafia PET

Relació entre els elements de l'activitat i els errors de concepte

- Operació del detector (M4, M7, M8)
- Aplicacions (M4, M5, M8)
- Radiació de fons (M1, M2, M7, M8)
- Mesura del radó (M1, M2, M8)
- Blindatge (M4, M6, M7, M8)
- Dosi del plàtan (M1, M2, M3, M6)

	Operació del detector	Aplicacions	Radiació de fons	Mesura del Radó	Blindatge	Dosi del plàtan
E1. Natura de la radiació (artificial)			X	X		X
E2. Provenen de les centrals nuclears			X	X		X
E3. Només nuclis grans						X
E4. Risc basat en informació quotidiana	X	X			X	
E5. Usos beneficiosos		X				
E6. Nociu					X	X
E7. Radiació ionitzant i no ionitzant	X		X		X	
E8. Irradiació i contaminació	X	X	X	X	X	
E9. Confusió entre radioactivitat i radiació	X	X		X		X

Metodologia de la recerca

S'han reproduït els test de la recerca anterior

- 2 qüestions mostrals
- 29 qüestions sobre radioactivitat i radiació
- 2 qüestions sobre motivació
- 90 respostes possibles relacionades amb les diferents preconcepcions

Grup d'anàlisi

- 65 estudiants de 3^r ESO de l'escola Sagrada Família de Gavà (Barcelona)
- Lliçó estàndard
- 45 activitat MiniPIX
- 20 grup de control

De les següents, selecciona les radiacions que coneguis *

- Electromagnètica
- Rajos-X
- Ultravioleta
- Gamma
- Còsmica
- Infraroja
- Visible
- Quàntica
- Nuclear

Indica si creus que aquestes radiacions són perjudicials per a la salut o no. *
COMPTE! HI HA 5 COLUMNES!

	És perjudicial	En molta quantitat és perjudicial	Les investigacions no són conclouents	No és perjudicial	No ho se
Telèfons mòbils	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rajos-X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ultravioleta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nuclear	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Microones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infraroja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visible	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Metodologia de la recerca

Lliçó estàndard sobre
Estructura de la Matèria

12 h

Activitat experimental
amb MiniPIX

1 h

1

2

3

4

5

Pre-Test

N = 65

Post-Test Sense MiniPIX

N = 20

Post-Test amb MiniPIX

N = 45

Anàlisi dels resultats

- Anàlisi a nivell de respostes
- 90 respostes de les mostres Pre-Test (N=65), Post-Test sense MiniPIX (N=20), Post-Test amb MiniPIX (N=45)
- Comparant
 - Pre-Test vs Post-Test sense MiniPIX = Millora lliçó estàndard
 - Post-Test sense MiniPIX vs Post-Test amb MiniPIX = Millora activitat MiniPIX
- Canvi en les proporcions comparades, classificada segons l'efecte en la preconcepció relacionada.
 - **Positiu (P), Negatiu (N) or Neutre (E)**
- Test Xi quadrat per cada proporció comparada
 - Hipòtesis nul·la = proporcions són iguals. P-valor $\geq 0,05$
 - Altri, diferència significativa en les proporcions
- Cada resposta classificada segons com s'ha treballat a l'activitat amb MiniPIX
 - Experimental, Teòrica, Indirecta, No-tractada

Questions	Answer	Misc 1	Misc 2	Type of Work	pre-post	no MX - MX	p-val 1	p-val 2
After going out from a radiotherapy machine	a Right (radioactive material)	8		THEORETICAL	P	N	0,3065	0,3373
After going out from a radiotherapy machine	c Right (is/is not radioactive)	8		THEORETICAL	P	N	0,0847	0,1699
After having a CT scan with X-rays, when	a Right (radioactive material)	8		THEORETICAL	P	P	0,7896	0,8712
After having a CT scan with X-rays, when	c Right (is/is not radioactive)	8		THEORETICAL	N	P	0,4833	0,7676
All radiations have the same characteristics	No	7	1	EXPERIMENTAL	N	P	0,9319	0,3808
Are the same radioactivity and radiation	No	9		EXPERIMENTAL	N	P	0,0506	0,0002
Besides medicine, radiation is used in	Yes	5		THEORETICAL	N	P	0,5308	0,0249
Chose whether you think these radiations	Infrared	7		THEORETICAL	P	P	0,0609	0,4500
Chose whether you think these radiations	Microwaves	7		THEORETICAL	P	P	0,1966	0,1023
Chose whether you think these radiations	Nuclear	7		EXPERIMENTAL	P	P	0,0342	0,0391
Chose whether you think these radiations	Smartphone	7		EXPERIMENTAL	P	P	0,4572	0,0117
Chose whether you think these radiations	UV	7		THEORETICAL	P	P	0,2865	0,1209
Chose whether you think these radiations	Visible	7		THEORETICAL	P	P	0,0372	0,2985
Chose whether you think these radiations	X-Rays	7		THEORETICAL	P	E	0,0053	1,0000
Different living beings have different sensitivities	Yes	6	7	NOT COVERED	N	N	0,3507	0,0547
Do all types of radiation produce the same effects	No	7	1	INDIRECT	N	P	0,5406	0,3450
Do you know the difference between ionizing and non-ionizing radiation	Yes	7		EXPERIMENTAL	P	P	0,0086	0,0001
Have you ever heard of natural radioactivity	Yes	1		EXPERIMENTAL	N	P	0,4832	0,0001
Have you ever heard of radiation?	Yes	1		EXPERIMENTAL	P	E	0,5263	1,0000
In the zone where the analysis is being done	a Right (radioactive material)	8		THEORETICAL	P	P	0,9282	0,8599
In the zone where the analysis is being done	c Right (is/is not radioactive)	8		THEORETICAL	N	P	0,3241	0,4907
Is the kind of radiation used in radiography	No	1		NOT COVERED	P	P	0,7410	0,4920
Just after having his thyroid glandular ph	a Right (radioactive material)	8		THEORETICAL	N	P	0,2979	0,0144
Just after having his thyroid glandular ph	c Right (is/is not radioactive)	8		THEORETICAL	N	P	0,0925	0,0017
Only huge atoms as uranium can be radi	No	3		INDIRECT	P	N	0,9329	0,3621
Radiation can induce cancer but can also	Yes	5		THEORETICAL	P	P	0,0358	0,3808
Radioactivity or radiation can be used fo	doing scientific experiments	5		THEORETICAL	P	P	0,8342	0,8295
Radioactivity or radiation can be used fo	for finding out the age of	5		THEORETICAL	P	P	0,0168	0,0030
Radioactivity or radiation can be used fo	killing germs	5		THEORETICAL	P	P	0,8671	0,2824
Radioactivity or radiation can be used fo	make lasers work	5		NOT COVERED	N	P	0,6121	0,1372
Radioactivity or radiation can be used fo	making food stay fresh	5		THEORETICAL	P	P	0,4268	0,1487
Radioactivity or radiation can be used fo	measuring speed of cars	5		THEORETICAL	N	P	0,2360	0,0043
Radioactivity or radiation can be used fo	send radio messages	5		THEORETICAL	N	P	0,5791	0,0009
Radioactivity or radiation can be used fo	to find out if people are	5		NOT COVERED	P	N	0,4282	0,0432
Radioactivity or radiation can be used fo	treating cancer patients	5		THEORETICAL	P	P	0,9292	0,1511

Mostra de les dades analitzades segon explicació

Lliçó estàndard vs activitat MiniPIX

La ratio de canvis Positiu-Negatiu és completament diferent (Total)

El nombre de respostes amb canvis significatius positius és 1.8 vegades més gran per l'activitat MiniPIX

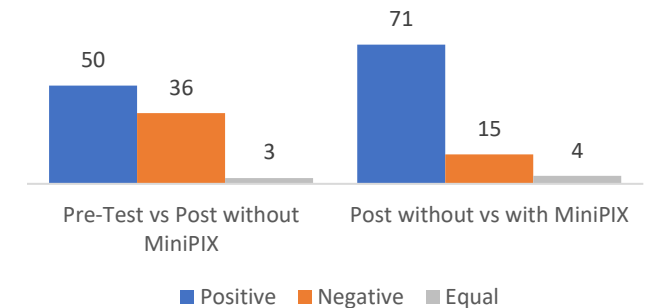
Canvi negatiu en “La radioactivitat o la radiació podent utilitzar-se per descobrir si la gent està mentint”

- Concepte no tractat
- Proporció augmenta de 5% to 27%. p-valor de 0,0432
- Recerca prèvia 24 %. SAFA Pre-test 11%

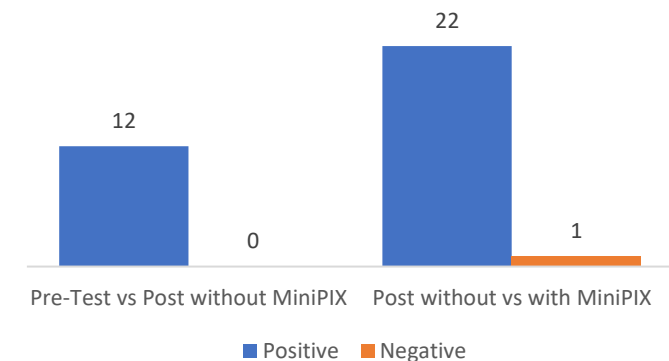
Tan la lliçó estàndard com l'activitat MiniPIX han produït millores en l'aprenentatge de l'alumnat

La millora és significativament més gran amb l'activitat MiniPIX

Canvis en la proporció entre Lliçó estàndard vs activitat MiniPIX (Total)

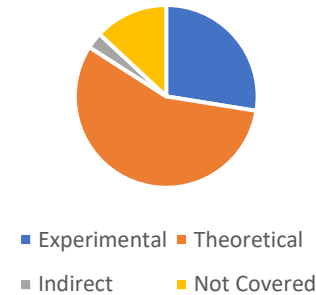


Canvis significatius en la proporció entre Lliçó estàndard vs activitat MiniPIX

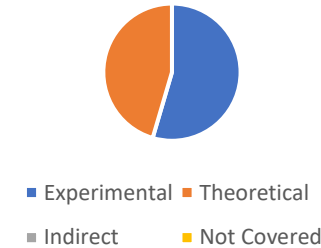


Millora en l'activitat MiniPIX

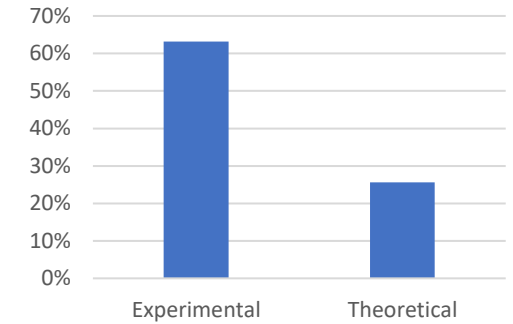
Tipus de treball realitzat a l'activitat (Totes les respostes)



Tipus de treball realitzat a l'activitat (Respostes significatives)

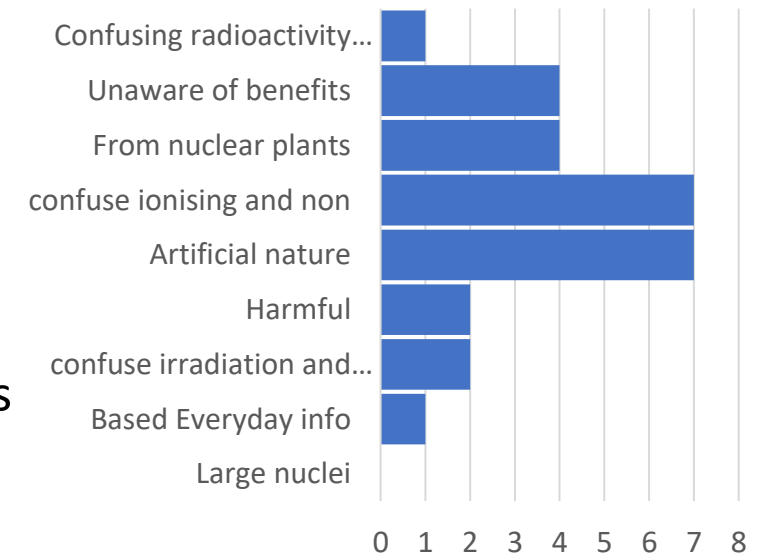


Percentatge de respostes amb millora significativa per tipus de treball



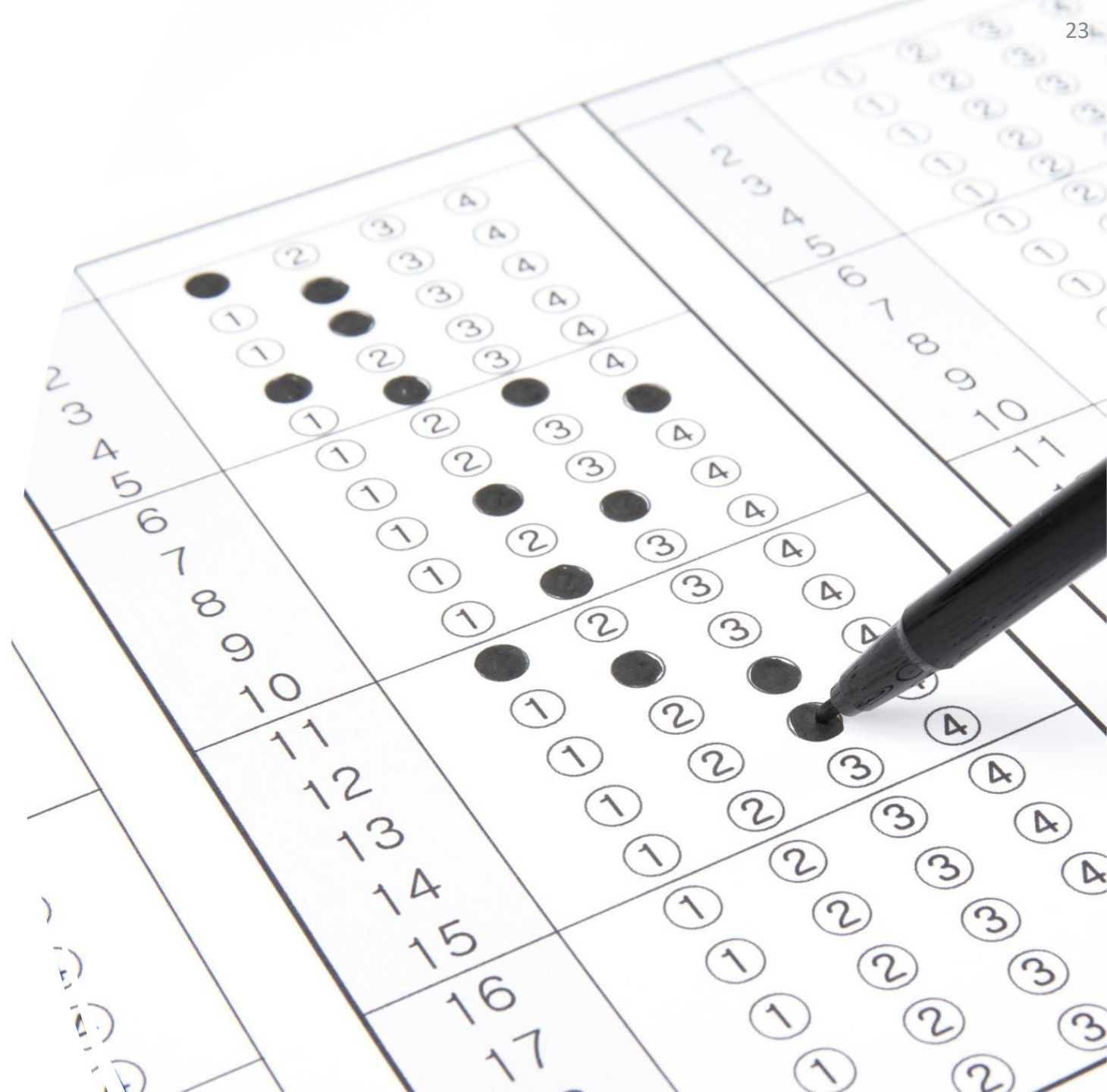
- La majoria de respostes han estat treballades teòricament (56%) vs experimentalment (28%)
- La majoria de les respostes amb millora significativa han estat treballades experimentalment (55%) vs teòricament (45%)
- El percentatge de respostes amb una millora significativa segons el tipus de treball és completament diferent
 - Experimental 63%
 - Teòric 26%
- Només un error de concepte no ha tingut millora significativa (“Només els nuclis grans poden ser radioactius”)
- **El treball experimental fet amb l'activitat del MiniPIX sembla ser un factor clau**

Respostes amb millora significativa per cada preconcepció



Limitacions

- Mostra petita, especialment pel grup de control.
- Dependències amb el tipus de resposta no analitzada.
- Dependència amb l'estructura de l'enquesta no analitzada.
- Activitat demostrativa més que experimental.
- Temps i recursos limitats.
- Aprenentatge a llarg termini.



Conclusions



Millora en el procés d'aprenentatge de l'alumnat sobre radioactivitat i radiació



Més recerca per augmentar la significança de l'estudi i analitzar altres paràmetres.



La col·laboració d'altres professors d'ADMIRA i TTN seria desitjable



Revisió de les preguntes per resoldre algunes de les dificultats detectades.

Agraïments

- A l'equip directiu de l'escola Sagrada Família, per permetre'ns fer aquesta recerca.
- Al Projecte ADMIRA pel préstec del MiniPIX
- A en David G. Saba per la seva col·laboració abans, durant i després de l'activitat

Referències

- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: Sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science & Technological Education*, 12(2), 145–160. <https://doi.org/10.1080/0263514940120204>
- Cardoso, P. S. S., Nunes, M. C. S., Silva, G. P. S., Braghittoni, L. S., & Trindade, N. M. (2020). Conceptions of high school students on atomic models, radiation and radioactivity. *Physics Education*, 55(3), 035030. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab7fc6>
- Dannalyn D. Ibañez. (2018). Radiation Scare: An Analysis of Student's Perception to Risks of Ionizing Radiation. *DDC Professional Journal*, 1(1), 1–1.
- Eijkelhof, H. M. C. (1996). Radiation Risk and Science Education. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3), 273–278. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031878>
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611.
- Gutiérrez, E., Capuano, V. C., Perrotta, M. T., Fuente, A. M. de la, & Follari, B. del R. (2000). ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2), 247–254. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4043>
- Ilyas, A., & Saeed, M. (2018). Exploring Teachers' Understanding about Misconceptions of Secondary Grade Chemistry Students. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education*, 9(1), 3323–3328. <https://doi.org/10.20533/ijcdse.2042.6364.2018.0444>
- Johnson, A., Hafele, A., Singh, C., Sabella, M., & Rebello, S. (2010). Exploring Student Understanding Of Atoms And Radiation With The Atom Builder Simulator. 177–180. <https://doi.org/10.1063/1.3515191>
- Kartal Tasoglu, A., Ateş, Ö., & Bakaç, M. (2015). Prospective Physics Teachers' Awareness of Radiation and Radioactivity. *European Journal Of Physics Education*, 6(1). <https://doi.org/10.20308/ejpe.12338>

References

- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass media ideas about radioactivity. *International - Journal of Science Education*, 12(1), 67–78. <https://doi.org/10.1080/0950069900120106>
- Millar, R. (1994). School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation. *Public Understanding of Science*, 3(1), 53–70. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/3/1/004>
- Millar, R., & Gill, J. S. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), 27–33. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/31/1/019>
- Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about radioactivity and ionizing radiation: An alternative approach. *Physics Education*, 25(6), 338–342. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/25/6/310>
- Neumann, S., & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 826–834.
- Plotz, T. (2017). Students' conceptions of radiation and what to do about them. *Physics Education*, 52(1), 014004. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/52/1/014004>
- Plotz, T., & Hopf, M. (2016). Two concepts of radiation—A case study investigating existing preconceptions. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 4(4), 447–459. <https://doi.org/10.30935/scimath/9484>
- Prather, E. (2005). Students' Beliefs About the Role of Atoms in Radioactive Decay and Half-life. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 345–354. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.345>
- Prather, E. E., & Harrington, R. R. (2001). Student Understanding of Ionizing Radiation and Radioactivity. *JOURNAL of COLLEGE SCIENCE TEACHING*, XXXI(2), 5.
- Rego, F., & Peralta, L. (2006). Portuguese students' knowledge of radiation physics. *Physics Education*, 41(3), 259–262. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/009>



Gràcies!

Encantat de respondre qualsevol pregunta

Em trobareu a:

- d.parcerisas@safagava.edu

