

Projectant CN3: Retorn a Karlsruhe Material per l'alumnat.

Aquest document recull tota la documentació elaborada per Jordi Domènech Casal relacionada amb el projecte Retorn a Karlsruhe, compilada i enregistrada per tal de preservar el seu llegat digital. El document inclou infografies, lectures, tasques i activitats i altres documents rellevants per implementar el projecte en un centre educatiu.

L'itinerari i els seus materials s'ofereixen sota la llicència Creative Commons (CC BY-NC 4.0) que permet usar i modificar l'obra i redifondre-la amb la condició de citar-ne la font i sense finalitats comercials.



Algunes de les imatges tenen la seva pròpia llicència, especificada en cada cas.

Citar com:

Domènech-Casal, J. (2024). [Títol del material].

Taula de Continguts: Retorn a Karlsruhe

1. Dossier de l'alumnat: Retorn a Karlsruhe
2. Lectures:
 - 2.1. Cuestiones Elementales
 - 2.2. El Poderoso Átomo
3. Targetes:
 - 3.1. Taula Periòdica Targetes
 - 3.2. Equip 1
 - 3.3. Equip 2
 - 3.4. Equip 3
 - 3.5. Equip 4
 - 3.6. Equip 5
 - 3.7. Equip 6
 - 3.8. Equip 7
 - 3.9. Equip 8
4. Examen Àtoms i Compostos

Retorn a Karlsruhe



NOM i COGNOMS.....

Índex

0. Presentació. Un Enigma.	2
1. Ronda 1 de Treball en equip: Un Enigma	2
2. L'ordre i la Ciència. Presentació de l'activitat.	4
3. Explicació. La Matèria i els àtoms.....	5
4. Ronda 2 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.	7
5. Explicació. Isòtops i radioactivitat.....	8
6. Ronda 3 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.	10
7. Explicació. Configuració electrònica, Nivells i orbitals.	11
8. Ronda 4 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.	13
9. Explicació. Ions, Estat d'oxidació i València.	14
10. Ronda 5 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.	16
11. Explicació. Enllaç químic i compostos químics.	17
12. Treball en equip. Elaboració d'un pòster i Celebració d'un congrés.....	21
13. Explicació. Síntesi final.....	23
14. Activitat de lectura.....	24
15. Avaluació	25
14. Guia didàctica, Crèdits, Llicències i Contacte.....	26

0. Presentació. Un Enigma.

En aquesta activitat, agrupats en equips de 3 alumnes, anireu rebent diferents targetes en diferents rondes. Les targetes contenen diferents informacions que, a priori, no tindran sentit per a vosaltres. La vostra missió és intentar ordenar-les d'alguna manera, fer-ne grups, ordenar els grups, trobar alguna manera de que totes juntes tinguin sentit.

Entre una ronda i una altra, rebreu diferents explicacions teòriques i practicareu exercicis que tal vegada us seran útils.

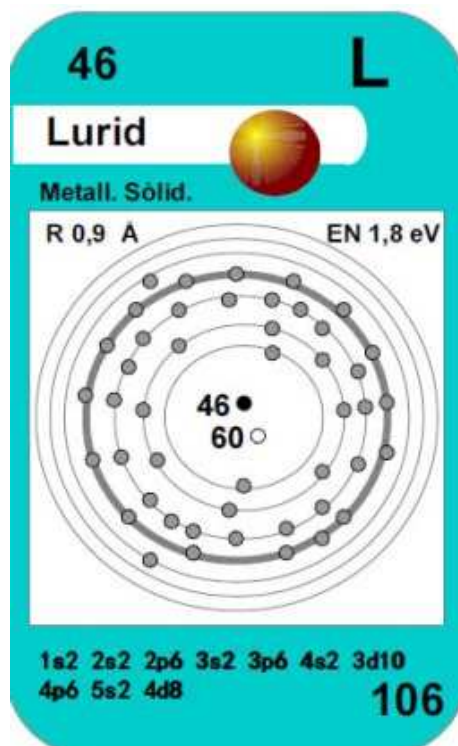
El que fa la missió una mica més complicada és que algunes de les targetes estan incompletes, els falta informació. Possiblement en el procés d'intentar ordenar-les sigueu capaços de completar-ne la informació que falta. Possiblement no.

Hi ha prop de 60 targetes diferents. Quan les hàgiu aconseguit ordenar i entendre què significa cadascuna de les informacions que contenen, a cada equip li faltaran 3 targetes diferents.

Com a part final d'aquest projecte, haureu d'intentar deduir com són, quines informacions contindrien, les tres targetes que us falten. Compartireu les vostres conclusions en un congrés final. El que esteu a punt de començar és un procés que van seguir desenes, centenars de científics, ara ja fa més de 150 anys. Van trigar 40 anys a trobar una manera d'ordenar-les.

Vosaltres només sou tres. I no disposeu de 40 anys. Fàcil, oi?

Podeu circular entre equips i donar-vos consells els uns als altres. És una cosa a la que els científics no en diuen "copiar", sinó "Construir coneixement en comunitat". És possible que penseu que intentar fer "trampes" buscant la solució al trencaclosques a internet us faci avançar més ràpid. Però llavors us perdreu l'aventura de recerca que us proposem i no arribareu a sentir el que van sentir aquells científics fa més de 150 anys.



1. Ronda 1 de Treball en equip: Un Enigma

Targetes: Etapa 1

Se us donaran unes targetes. Observeu-les bé, compareu-les entre sí i discutiu entre els membres del teu equip. Algunes de les coses podreu interpretar-les. D'altres no. Intenteu donar resposta provisional a les següents preguntes i anoteu-ne les vostres respostes.

Anota abans els Símbols d'una o dues lletres que apareixen a dalt a la dreta de cada targeta.

1. Quin és el significat de cadascuna de les informacions que hi ha a les targetes? En alguna targeta pot faltar informació. Puc completar-la amb el que sé?

2. Com es podrien ordenar les targetes? Col·loca-les sobre la taula de manera que tinguin algun sentit. Detectem alguna pauta o regularitat?

3. Al final de l'activitat hauràs de fer prediccions de quines targetes diferents de les que tens creus que poden existir. Tens de moment alguna pista en aquest sentit?

En acabar aquesta part, fes una fotografia de les targetes tal com les has disposat i conserva les targetes, et faran falta en la propera ronda!

2. L'ordre i la Ciència. Presentació de l'activitat.

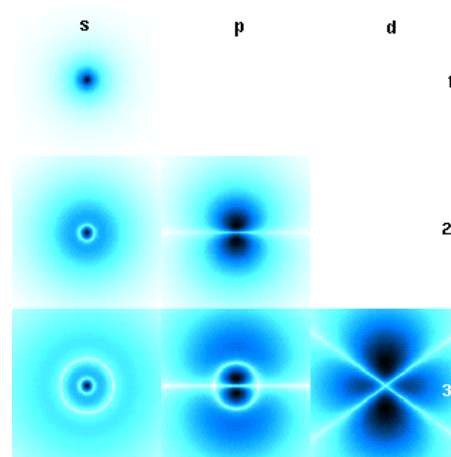
La Ciència s'encarrega d'observar la natura i detectar-hi pautes que ens permetin comprendre el funcionament dels sistemes i poder fer prediccions.

D'aquesta manera sabem per exemple, quin temps farà quan veiem determinats núvols, quina estrella és la propera que sortirà a l'horitzó i quant temps de vida li queda al nostre Sol.

Per detectar pautes, cal organitzar i reorganitzar la informació fins que aquesta agafa un sentit, ja sigui perquè veiem progressions lògiques (cada cop més gran, cada cop més petit), ja sigui perquè veiem associacions (cada cop que passa una cosa, passa l'altra). Això requereix cercar maneres d'organitzar les dades per detectar regularitats.

De fet, nosaltres fem això cada dia: un calendari és una taula que ens permet fer prediccions: cada set dies ens trobem amb un dia que té característiques similars (els dilluns s'assemblen entre sí), podem predir situacions especials (els diumenges són, definitivament, diferents de la resta de dies) i preveure canvis (a mesura que avancem de dilluns a divendres estem més cansats). També en la música, després de 7 notes, es torna a trobar la mateixa nota, una octava més aguda.

L'any 1860 hi va haver a la ciutat Alemanya de Karlsruhe una reunió que va canviar la manera d'entendre el món. Es van reunir científics de tot Europa que estaven investigant de què està fet tot el que veiem (i el que no veiem), i es van posar d'acord en com es comunicarien quan parlessin dels seus descobriments. La importància de la reunió es va fer evident immediatament, i per això s'anomenà a aquella època la Segona Revolució Química. Gràcies a la feina que es fer en aquell congrés, més tard els investigadors van poder comunicar-se entre ells i discutir, i crear la ciència necessària per coses tant diverses com les pantalles de plasma, els raigs X o les bombes atòmiques. Però abans, van detectar que la matèria de la que estem fets segueix unes pautes sorprenents. I tu treballaràs ara com un científic per a descobrir quines són aquestes pautes i explicar els teus descobriments tal com van els científics a partir del congrés de Karlsruhe. Estàs convocat al segon congrés de Karlsruhe.



En aquesta activitat aprendràs sobre l'estructura de l'àtom fent el mateix procés que van fer els investigadors reals: cercant i identificant pautes per organitzar les informacions a mesura que apareixen. Treballarem en equips de 3 persones, i al final de l'activitat cada equip presentarà els seus resultats com si fos en un congrés científic.

L'activitat tindrà quatre tipus de moments:

- Explicacions del professor (hi ha espai en aquest dossier per prendre'n nota)
- Exercicis de pràctica (exercicis individuals per a preparar-se per al Treball en equip)
- Treball en equip (hi ha espai en aquest dossier per anotar les conclusions)
- Lectura individual i portfolio (Lectura de dos textos i anotacions de les reflexions)

Al final de l'activitat, participaràs en un congrés científic on els membres del teu equip hauréu de presentar els vostres descobriments. Al llarg d'aquesta tasca hi haurà moments en què hauràs acabat una tasca abans que els altres o et sobrarà temps per alguna raó. Aquest temps l'has de dedicar a la Tasca de lectura.

3. Explicació. La Matèria i els àtoms.

Visualització i comentari del vídeo Cosmic Eye:

<https://www.youtube.com/watch?v=jfSNxVqprvM>

Accés alternatiu: <https://www.youtube.com/watch?v=I-uKwWNVowM>

Anotem aquí els termes que apareixen a la discussió:

Hashtags

#Estructura de la matèria; #Teories atòmiques #àtom #electró #neutró #protó #símbol químic
#substància #molècula #propietats físiques i químiques

Mostrar el simulador i provar diferents configuracions: https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_es.html

Exercicis de pràctica de representació i lectura d'estructures atòmiques

Representa els següents àtoms i intenta descobrir un lloc del món real on tinguin un paper:

${}^8_3\text{Li}$ Liti

${}^{12}_6\text{C}$ Carboni

${}^{23}_{11}\text{Na}$ Sodi

${}^{16}_8\text{O}$ Oxigen

${}^{24}_{12}\text{Mg}$ Magnesi

${}^{20}_{10}\text{Ne}$ Neó

4. Ronda 2 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.

Targetes: Etapes 2 i 3

Recupera les targetes amb les que heu treballat en la ronda anterior. Aneu incorporant paulatinament (de mica en mica) les noves targetes que se us donaran.

S'han descobert nous àtoms amb característiques peculiars. Observa'ls bé, compara'ls entre ells i discutiu amb els companys. Algunes de les coses podreu interpretar-les. D'altres no. Intenteu donar resposta provisional a les següents preguntes i anoteu-ne les vostres respostes.

(Algunes estratègies: Fer grups i sub-grups de targetes segons semblances o diferències. Ordenar-les d'acord a alguna característica o informació).

Anota abans els Símbols Químics dels nous elements heu incorporat:

-

1. Quin és el significat de cadascuna de les informacions que hi ha a les targetes? Quina relació té amb el que s'ha explicat? En alguna targeta pot faltar informació. Puc completar-la amb el que sé? Fes un dibuix dels diferents apartats assenyalant el significat de cada part.

2. Com es podrien ordenar les targetes? Col·loca-les sobre la taula de manera que tinguin algun sentit. Detectem alguna pauta o regularitat?

3. Al final de l'activitat hauràs de fer prediccions de quins elements diferents dels que tens creus que poden existir i quines són les seves propietats físiques i químiques. Tens de moment alguna pista en aquest sentit?

En acabar aquesta part, fes una fotografia de les targetes tal com les has disposat i conserva les targetes, et faran falta en la propera ronda!

5. Explicació. Isòtops i radioactivitat.

Mostrar el simulador i provar diferents configuracions: https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_es.html

Hashtags

#isòtops #radioactivitat #Pierre i Marie Curie #Descomposició radioactiva #Nombre atòmic i Massa atòmica #Mètode Carboni 14 #Centrals nuclears #Bomba nuclear # $1n + {}^{235}\text{U}_{92} \rightarrow {}^{139}\text{Ba}_{56} + {}^{94}\text{Kr}_{36} + 3n + \text{Energia}$

Exercicis de pràctica de reaccions nuclears i isòtops

Fes les reaccions de descomposició radioactiva de tipus alfa dels següents àtoms:

$^{238}_{92}\text{U}$ **Urani**

$^{234}_{90}\text{Th}$ **Tori**

$^{223}_{87}\text{Fr}$ **Franci**

$^{14}_6\text{C}$ **Carboni**

Escriu la representació de 3 elements químics de les targetes i inventa't dos isòtops per a cadascun, fent també la seva representació (nombre màssic, nombre atòmic, símbol i nom).

6. Ronda 3 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.

Targetes: Etapes 4 i 5

Recupera les targetes amb les que heu treballat en les rondes anteriors. Aneu incorporant paulatinament (de mica en mica) les noves targetes que se us donaran.

Intenteu donar resposta provisional a les següents preguntes i anoteu-ne les vostres respostes.

(Algunes estratègies: Fer grups i sub-grups de targetes segons semblances o diferències. Ordenar-les d'acord a alguna característica o informació).

Anota abans els Símbols Químics dels elements que incorporeu:

-

1. Quin és el significat de cadascuna de les informacions que hi ha a les targetes? Quina relació té amb el que s'ha explicat? En alguna targeta pot faltar informació. Puc completar-la amb el que sé?

2. Com es podrien ordenar les targetes? Col·loca-les sobre la taula de manera que tinguin algun sentit. Detectem alguna pauta o regularitat?

3. Al final de l'activitat hauràs de fer prediccions de quins elements diferents dels que tens creus que poden existir i quines són les seves propietats físiques i químiques. Tens de moment alguna pista en aquest sentit?

En acabar aquesta part, fes una fotografia de les targetes tal com les has disposat i conserva les targetes, et faran falta en la propera ronda!

7. Explicació. Configuració electrònica, Nivells i orbitals.

Mostrar el simulador i provar diferents configuracions: https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_es.html

Hashtags

#Nivell d'energia #Potencial d'Excitació #s,p,d,f ##Fluorescents #Regla de Madelung (*anotar en un post-it*)

Exercicis de pràctica de configuració electrònica

Fes la configuració electrònica dels següents àtoms i intenta descobrir un lloc del món real on tinguin un paper:

$^{83}_{36}\text{K}$ **Kriptó**

$^{10}_5\text{B}$ **Bor**

$^{32}_{16}\text{S}$ **Sofre**

$^{40}_{20}\text{Ca}$ **Calci**

$^{35}_{17}\text{Cl}$ **Clor**

$^{28}_{14}\text{Si}$ **Silici**

8. Ronda 4 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.

Targetes: Etapes 6 i 7

Recupera les targetes amb les que heu treballat en les rondes anteriors. Aneu incorporant paulatinament (de mica en mica) les noves targetes que se us donaran.

Intenteu donar resposta provisional a les següents preguntes i anoteu-ne les vostres respostes.

(Algunes estratègies: Fer grups i sub-grups de targetes segons semblances o diferències. Ordenar-les d'acord a alguna característica o informació).

Anota abans els Símbols Químics dels elements que incorporeu:

-

1. Quin és el significat de cadascuna de les informacions que hi ha a les targetes? Quina relació té amb el que s'ha explicat? En alguna targeta pot faltar informació. Puc completar-la amb el que sé?

2. Com es podrien ordenar les targetes? Col·loca-les sobre la taula de manera que tinguin algun sentit. Detectem alguna pauta o regularitat?

3. Al final de l'activitat hauràs de fer prediccions de quins elements diferents dels que tens creus que poden existir i quines són les seves propietats físiques i químiques. Tens de moment alguna pista en aquest sentit?

En acabar aquesta part, fes una fotografia de les targetes tal com les has disposat i conserva les targetes, et faran falta en la propera ronda!

9. Explicació. Ions, Estat d'oxidació i València.

Mostrar el simulador i provar diferents configuracions:

<https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/build-a-molecule>

Hashtags

#Regla de l'octet i valències #Representació de Lewis #Electronegativitat #Metalls i no Metalls

Exercicis de configuració electrònica i valència

Dels següents àtoms, fes-ne la representació de Lewis (et pot caldre fer-ne la representació electrònica), Dedueix-ne la valència, i quin seria el ió corresponent. Digues també si és un Metall o un No-Metall i si la seva Electronegativitat serà alta o baixa i perquè.

$^{16}_8\text{O}$ Oxigen

$^{30}_{15}\text{P}$ Fósfor

$^{78}_{34}\text{Se}$ Seleni

$^{14}_7\text{N}$ Nitrogen

$^{28}_{14}\text{Si}$ Silici

$^{26}_{55}\text{Fe}$ Ferro

$^{80}_{35}\text{Br}$ Brom

10. Ronda 5 Treball en equip. Anàlisi d'evidències.

Targetes: Etapes 8, 9,i 10

Recupera les targetes amb les que heu treballat en les rondes anteriors. Aneu incorporant paulatinament (de mica en mica) les noves targetes que se us donaran.

Intenteu donar resposta provisional a les següents preguntes i anoteu-ne les vostres respostes.

(Algunes estratègies: Fer grups i sub-grups de targetes segons semblances o diferències. Ordenar-les d'acord a alguna característica o informació).

Anota abans els Símbols Químics dels elements que incorporeu:

1. Quin és el significat de cadascuna de les informacions que hi ha a les targetes? Quina relació té amb el que s'ha explicat? En alguna targeta pot faltar informació. Puc completar-la amb el que sé?

2. Com es podrien ordenar les targetes? Col·loca-les sobre la taula de manera que tinguin algun sentit. Detectem alguna pauta o regularitat?

3. Al final de l'activitat hauràs de fer prediccions de quins elements diferents dels que tens creus que poden existir i quines són les seves propietats físiques i químiques. Tens de moment alguna pista en aquest sentit?

En acabar aquesta part, fes una fotografia de les targetes tal com les has disposat i conserva les targetes, et faran falta en la propera ronda!

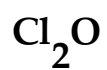
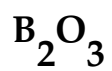
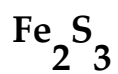
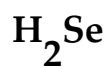
11. Explicació. Enllaç químic i compostos químics.

Hashtag

#Metalls #No-Metalls #Enllaç iònic #Enllaç Covalent #Enllaç Metà·lic #Òxids #Hidrurs #Sals
#Fórmula molecular #Fórmula empírica #Compostos Binaris #Nomenclatura

Exercicis de formulació química i nomenclatura

1) Dibuixa les estructures de Lewis i anomena els següents compostos:



Per a cada cas que se't proposa:

- Determina si són metalls o no metalls, i quin tipus d'enllaç formaran (Covalent, iònic o metàl·lic)
- Dibuixa les estructures de Lewis i determina quants àtoms de cada tipus han de participar a l'enllaç.
- Escriu la fórmula empírica i la fórmula molecular.
- Anomena el compost resultant.

B i O

Na i Cl

H i Fe

Cl i C

12. Treball en equip. Elaboració d'un pòster i Celebració d'un congrés.

El pòster és per a ser presentat al congrés de Karlsruhe que celebrarem a l'aula. Les preguntes a les que heu de respondre amb la vostra recerca són:

Quins elements no són a la vostra taula però penseu que probablement existeixen?

Per a cada element, heu de predir i justificar:

- Electronegativitat
- Radi
- Caràcter Metàl·lic-No Metàl·lic
- Configuració electrònica València
- Poseu-los nom i presenteu algun compost que podria formar-se.

El pòster ha de contenir una imatge representant el sistema d'organització o taula d'elements que heu construït.

Consenseu les condicions que ha de reunir el pòster

Hashtags

#introducció #material i mètodes #resultats #conclusions #figures

	Criteri	%	Dibuixeu aquí un "mapa" de l'estructura/aspecte que hauria de tenir el pòster (apartats...)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

13. Explicació. Síntesi final.

Transferència a elements Reals. #Taula Periòdica #Canvis en radi i Electronegativitat. #Metalls de Transició #Gasos Nobles #Alcalins #Alcalins-Terris #Halògens #Anfígens #Lantànids #Actínids #Newman #Tríades #Doréiniev #Octaves #Mendeléev

14. Activitat de lectura

Llegeix els dos textos proposats i anota aquí els aspectes d'interès que tenen relació amb el que estem treballant. Versió x mòbil:

<https://app.box.com/s/zw3dwsom2n1y0miqrqbkd203vl8wqwa>

- Llegir primer: Bryson, Bill (2003). El poderoso átomo. Pp 166-183. A: Una breve historia de casi todo. RBA Libros (Barcelona).
- Llegir segon: Bryson, Bill (2003). Cuestiones elementales. pp 124-142 A:Una breve historia de casi todo. RBA Libros (Barcelona).

15. Avaluació

Tasques parcials. Valora en cadascuna d'elles si t'has esforçat per aprendre, si has completat el que se't demanava i si has participat de forma correcta a l'activitat.

	/10
Apartat 1: ronda de treball en equip.	
Apartat 3. Exercicis disseny àtoms	
Apartat 4. ronda de treball en equip	
Apartat 5. Exercicis isòtops i radiacions	
Apartat 6. ronda de treball en equip	
Apartat 7. Exercicis configuració electrònica	
Apartat 8. ronda de treball en equip	
Apartat 9. Exercicis de valències i Lewis	
Apartat 10. ronda de treball en equip	
Apartat 11: Exercicis de formulació i nomenclatura	
Apartat 12: treball en equip: preparació del pòster	
Apartat 14: Activitat de lectura	
	GLOBAL/10

Pòster final. Després de recollir les qualificacions dels companys:

	Criteri i pes en la nota	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
		GLOBAL/10

	Considero que he après...	/10
	L'estructura de la matèria	
	La relació de l'estructura de la matèria amb els seus usos i propietats	
	Els mètodes dels científics per a generar coneixement científic	
	Procediments de química (formulació, nomenclatura,...)	
	A comunicar i argumentar	
		GLOBAL/10

14. Guia didàctica, Crèdits, Llicències i Contacte

<< No imprimir aquest darrer apartat en el dossier dels alumnes >>

Aquest dossier, els textos i les fitxes (targetes) per a treballar-hi són disponibles per a la seva descàrrega a l'adreça <https://app.box.com/s/g3eibiu9e21t6v9l5xjs6ivuedf01zzu>

L'activitat forma part de l'itinerari d'activitats per a CCNN 3 ESO Projectant CN3: <https://sites.google.com/site/projectantcn3/home>

Dinàmiques i Materials

Cal imprimir i donar aquest dossier als alumnes. **No mencionar als alumnes la Taula Periòdica fins que s'explicita al dossier.**

L'activitat proposa als alumnes intentar descobrir el significat de diferents elements d'unes targetes i intentar trobar una manera d'ordenar-les. Les targetes contenen els elements ficticis que es corresponen al primer, segon, tercer, quart i cinquè període. Les targetes estan agrupades en fitxes que cal imprimir prèviament (no cal que sigui en color), els alumnes les poden retallar. Expressament, en algunes targetes, s'han eliminat algunes informacions que els alumnes hauran de deduir de la resta d'informacions de la targeta. El treball d'indagació en equips s'alterna amb explicacions teòriques i pràctica d'exercicis dels que els alumnes extreuen claus per donar sentit al seu objectiu d'interpretar i construir una explicació de les targetes.

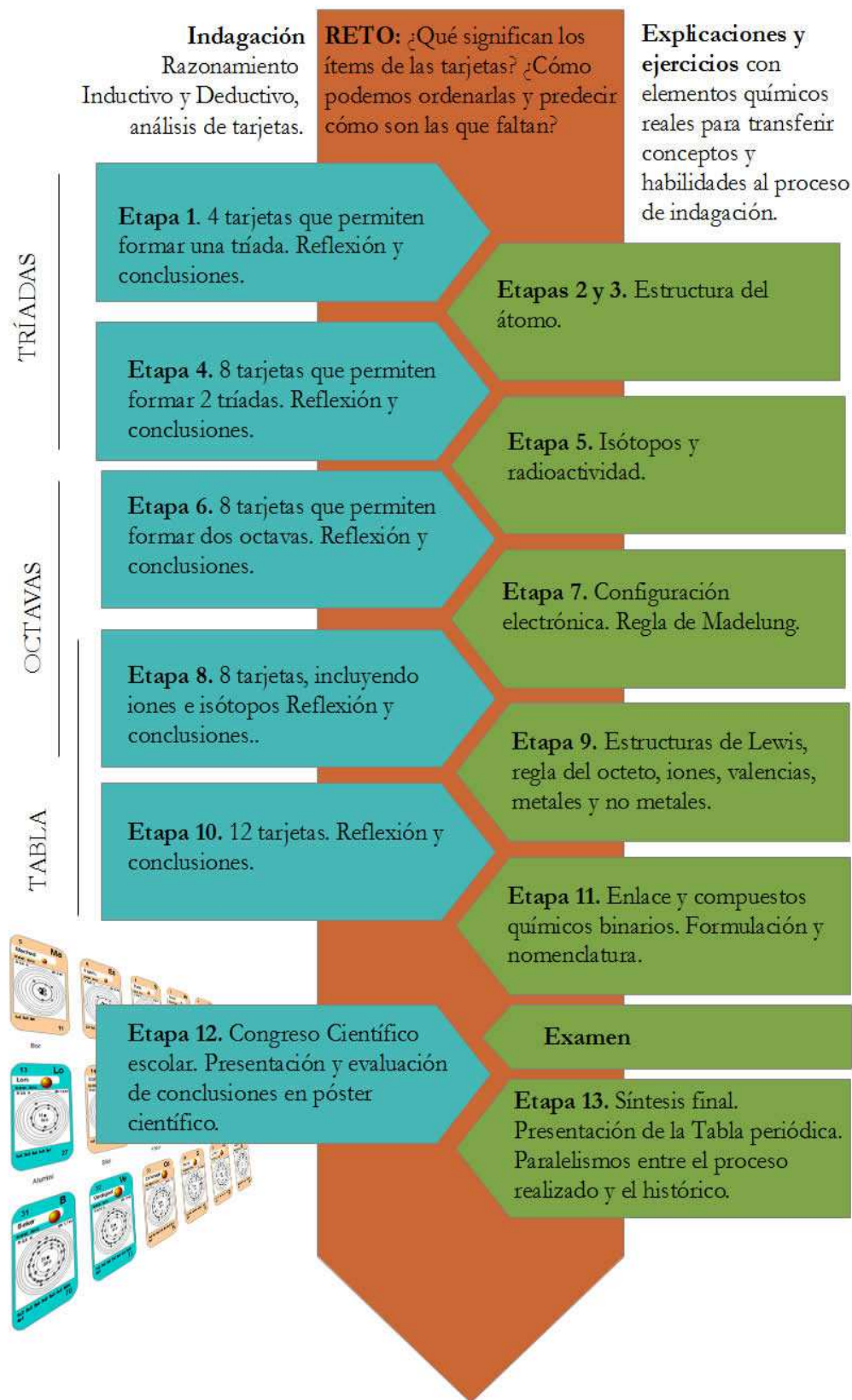
Al final de l'activitat, a cada equip li falten 3 targetes per a completar els 5 primers períodes de la taula periòdica. Els materials estan dissenyats perquè a cap equip li faltin exactament les mateixes que a un altre. Han de fer un póster final "predint" quins elements els falten i com es comportaran químicament. L'ordre en què es van donant les targetes afavoreix que els alumnes segueixin el procés històric i identifiquin inicialment Tríades (com Newman), després octaves (com Dovereineiev) i finalment una taula (com Mendeléev). L'activitat alterna treball en equip i treball individual. En les etapes del treball en equips, cal donar a cada equip les targetes que s'especifica en cada etapa, que cal que retallin i intentin ordenar. Cal donar en cada ronda només les fitxes que es proposen. En les primeres etapes (1-3) pot ser interessant fer postes en comú al final de cada sessió d'equip. A partir d'aquest punt, cal convidar els alumnes a no compartir informació entre equips.

Materials addicionals

Article de lectura: La tabla periódica se asoma a una nueva fila por primera vez en la historia [https://elpais.com/elpais/2018/01/04/ciencia/1515101255_058583.html]

Alguns espais on trobar exercicis i aplicacions d'utilitat per a les activitats de pràctica:

- <http://www.educaplus.org/games/elementos>
- <https://www.ptable.com/?lang=es>
- <http://elements.wlonk.com/ElementsTable.htm>



Esquema de l'estructura de l'activitat (extret de l'article referenciat en aquests materials)

Referents didàctics

L'activitat s'enmarca en la metodologia d'Aprenentatge Basat en Problemes (ABP), concretament del tipus Estudi de Cas Dirigit. El fonament d'aquesta metodologia és que es proposa un problema-situació inicial, un escenari d'evidències al que cal donar sentit. Al llarg de la seqüència, s'aporten noves evidències i es proporcionen suports (explicacions, exercicis) perquè els alumnes puguin completar el repte. La celebració del congrés final té també per objecte el desenvolupament de la competència científica usant el context del congrés científic i el gènere lingüístic del pòster científic i les habilitats cognitivo-lingüístiques que hi van associades. Tot i que no està desenvolupada en aquest sentit, podrien aplicar-se components de gamificació per a millorar-la. Hi ha disponible una justificació metodològica i descripció dels resultats a l'aplicació a l'article:

Retorno a Karlsruhe: una experiencia de investigación con la Tabla Periódica para aprender la estructura y propiedades de los elementos químicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(1), 1201,1-18 (2019). J. Domènech-Casal. <https://wp.me/p25seH-Ag>

Una descripció més a fons d'aspectes metodològics de l'ABP a les Ciències disponible a:

Aprenentatge Basat en Projectes, Treballs pràctics i Controvèrsies. 28 experiències i reflexions per a ensenyar Ciències. Rosa Sensat: Barcelona. Jordi Domènech Casal. <https://wp.me/p25seH-DC>

Enllaços curriculars. Matèria Física i Química 3 ESO. (segons Currículum oficial Decret 187/2015 DOGC núm. 6945 – 28.8.2015)

Continguts

Investigació i experimentació (comú a tots els blocs) (CC15)

- o Fases d'una investigació. Disseny d'un procediment experimental.
- o Plantejament de preguntes i identificació dels models científics teòrics que poden ser més útils per respondre-les.
- o Disseny d'investigacions per validar hipòtesis que comportin controlar variables.
- o Argumentació de les conclusions.
- o Projecte d'investigació en grup.

La matèria a l'Univers (CC8)

- o Elements químics bàsics de la Terra i els éssers vius. Metalls i no-metalls.
- o Taula periòdica dels elements. Símbols químics. Nombre atòmic i massa atòmica.
- o Estructura de l'àtom. Diferències entre àtoms de diferents elements. Isòtops d'un element. Ions.
- o Enllaços entre àtoms. Molècules i estructures gegants. Formulació i nomenclatura (IUPAC) dels compostos binaris més habituals. Masses moleculars.
- o Radioactivitat. Efectes de les radiacions ionitzants. Altres tipus de radiacions.

Criteris d'avaluació

- Elaborar conclusions en funció de les evidències recollides en un procés de recerca, identificar els supòsits que s'han assumit en deduir-les, i argumentar-les.
- Utilitzar la taula periòdica per obtenir dades d'elements químics i aplicar un model

elemental d'àtom per interpretar-ne la diversitat i algunes de les propietats.

Competències de l'àmbit Científic-Tecnològic

Competència 1. Identificar i caracteritzar els sistemes físics i químics des de la perspectiva dels models, per comunicar i predir el comportament dels fenòmens naturals.

Competència 4. Identificar i resoldre problemes científics susceptibles de ser investigats en l'àmbit escolar, que impliquin el disseny, la realització i la comunicació d'investigacions experimentals.

Competència 6. Reconèixer i aplicar els processos implicats en l'elaboració i validació del coneixement científic.

Crèdits, Llicències i contacte



Aquesta activitat ha estat creada per Jordi Domènech-Casal, professor de Ciències a l'Institut Marta Estrada (Granollers). Contacte: jdomen44@xtec.cat | [@jdomenechca](https://twitter.com/jdomenechca) | <https://jordidomenechportfolio.wordpress.com/>

L'autor agraeix a Sílvia Martínez Grau (@sil_enci) i Jesús Gasco (@jesus_gasco) les orientacions i propostes. Aquesta obra està subjecta a una llicència de Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional de Creative Commons. L'activitat s'ofereix amb llicència CopyLeft, es permet el seu ús, reproducció i generació de versions amb l'única limitació de que no pot ser amb finalitats econòmiques i s'ha de compartir amb una llicència similar.

Excepcions a aquesta llicència: les imatges i els textos de Bill Bryson tenen la seva pròpia llicència i no se'n permet la seva distribució ni reproducció sense consultar-ne els autors originals.

CUESTIONES ELEMENTALES

Suele decirse que la química como ciencia seria y respetable se inicia a partir de 1661, cuando Robert Boyle, de Oxford, publicó *El químico escéptico* (la primera obra que distingue entre químicos y alquimistas). Fue una transición lenta y errática. En el siglo xviii, los estudiosos eran capaces de sentirse extrañamente cómodos en ambos campos, como, por ejemplo, el alemán Johann Becher, que escribió una obra sobria y anodina sobre mineralogía titulada *Physica Subterranea* [Física subterránea], pero que estaba convencido también de que, con los materiales adecuados, podía hacerse invisible.'

Quizá no haya nada que ejemplifique mejor la naturaleza extraña, y con frecuencia accidental, de la ciencia química en sus primeros tiempos que un descubrimiento que hizo un alemán llamado Hennig Brand en 1675. Brand se convenció de que podía

destilarse oro de la orina humana. (Parece ser que la similitud de colorido fue un factor que influyó en esa conclusión.) Reunió 50 cubos de orina humana y los tuvo varios meses en el sótano de su casa. Mediante diversos procesos misteriosos convirtió esa orina primero en una pasta tóxica y luego en una sustancia cérea y translúcida. Nada de eso produjo oro, claro está, pero sucedió una cosa extraña e interesante. Al cabo de un tiempo, la sustancia empezó a brillar. Además, al exponerla al aire, rompía a arder en llamas espontáneamente con bastante frecuencia.

Las posibilidades comerciales del nuevo material (que pronto pasó a

llamarse fósforo, de las raíces latina y griega que significan «portador de

luz») no les pasaron desapercibidas a negociantes codiciosos, pero las

dificultades de la manufactura del fósforo lo hacían demasiado costoso

para que pudiera explotarse. Una onza de fósforo se vendía por 6 gui-

neas' (unos 440 euros en dinero de hoy), es decir, costaba más que el oro.

Al principio se recurrió a los soldados para que proporcionaran la

materia prima, pero eso no favorecía en modo alguno la producción a escala industrial. En la década de 1750, un químico sueco llamado Karl (o Carl) Scheele ideó un medio de fabricar fósforo en grandes cantidades sin la porquería del olor a orina. Por su maestría en la manufactura del fósforo los suecos se convirtieron en destacados fabricantes de cerillas, y aún lo siguen siendo.

Scheele fue al mismo tiempo un tipo extraordinario y extraordinariamente desafortunado. Era un humilde farmacéutico que apenas disponía de instrumental avanzado, pero descubrió ocho elementos (cloro, flúor, manganeso, bario, molibdeno, tungsteno, nitrógeno y oxígeno) y no se le llegó a honrar por ninguno de ellos.³ Sus descubrimientos fueron, en todos los casos, bien pasados por alto o bien consiguió publicarlos después de que algún otro hubiese hecho ya ese mismo descubrimiento independientemente. Descubrió también muchos compuestos

útiles, entre ellos, el amoníaco, la glicerina y el ácido tánico, y fue el primero que se dio cuenta de las posibilidades comerciales del cloro como blanqueador..., descubrimientos que hicieron a otras personas extraordinariamente ricas.

Uno de los defectos notorios de Scheele era su extraña insistencia en probar un poco de todo aquello con lo que trabajaba, incluidas sustancias tan evidentemente desagradables como el mercurio, el ácido prúsico (otro de sus descubrimientos) y el ácido cianhídrico (un compuesto con tanta fama de venenoso que, 150 años después, Erwin Schrödinger lo eligió como su toxina favorita en un famoso experimento mental (véase página 146). Esa imprudencia de Scheele acabó pasándole factura. En 1786, cuando tenía sólo cuarenta y tres años, le encontraron muerto en su banco de trabajo, rodeado de una colección de sustancias químicas tóxicas, cualquiera de las cuales podría haber sido la causa de la expresión petrificada y ausente de su rostro.

Si el mundo fuese justo y suecoparlante, Scheele habría gozado de fama universal. Pero, siendo las cosas como son, los aplausos han tendido a ser para

químicos más célebres, mayoritariamente del mundo de habla inglesa. Aunque Scheele descubrió el oxígeno en 1772., por varias razones descorazonadoramente complicadas no pudo conseguir que su artículo se publicara a tiempo. Así que los honores del descubrimiento se otorgarían a John Priestley, que descubrió el mismo elemento independientemente, aunque más tarde, en el verano de 1774. Más notable fue que no se atribuyese a Scheele el descubrimiento del cloro. Los libros de texto aún siguen casi todos atribuyéndoselo a Humphry Davy, que lo halló sin duda, pero *treinta y seis* años después que Scheele.

Aunque la química había recorrido mucho camino en el siglo que separaba a Newton y Boyle de Scheele, Priestley y Henry Cavendish, todavía le quedaba mucho camino por recorrer. Hasta los últimos años del siglo xviii (y en el caso de Priestley un poco después), los científicos buscaban en todas partes y a veces creían realmente haber encontrado cosas que simplemente no estaban allí: aires viciados, ácidos marinos desflogisticados, flog, calx, exhalaciones terráneas y, sobre todo, flogisto, la

sustancia que se consideraba el agente activo de la combustión. También se creía que en alguna parte de todo esto residía un misterioso *elan vital*, la fuerza que hacía que objetos inanimados aflorasen a la vida. Nadie sabía dónde se hallaba esa esencia etérea, pero dos cosas parecían probables: que pudieses vivificarla con una descarga eléctrica -una idea que explotó plenamente Mary Shelley en su novela *Frankenstein*- y que existiese en unas sustancias pero no en otras, que es la razón de que acabáramos teniendo dos ramas en la química:⁴ orgánica (para las sustancias que consideramos que la tienen) e inorgánica (para las que no).

Hacía falta alguien con una inteligencia penetrante para introducir la química en la edad moderna, y fue Francia quien lo proporcionó. Se llamaba Antoine-Laurent Lavoisier. Nacido en 1743, era miembro de la baja nobleza -su padre había comprado un título para la familia-. En 1768 adquirió una participación activa en una institución profundamente despreciada, la Ferme Générale (o granja general), que recaudaba impuestos y tasas en nombre del Estado. Aunque el propio Lavoisier era en todos los sentidos

amable y justo, la empresa para la que trabajaba no era ninguna de esas dos cosas. Por una parte, no gravaba a los ricos sino sólo a los pobres, y a éstos a menudo arbitrariamente. Para Lavoisier el atractivo de la institución era que le proporcionaba la riqueza necesaria para seguir su principal vocación, la ciencia. Sus ganancias personales alcanzaron en su periodo culminante la cifra de 150.000 libras al año... unos 18 millones de euros.⁵

Tres años después de embarcarse en esta lucrativa actividad profesional, se casó con la hija de catorce años de uno de sus jefes.⁶ El matrimonio fue un encuentro de corazones y de mentes. La señora Lavoisier poseía una inteligencia arrolladora y no tardaría en trabajar productivamente al lado de su marido. A pesar de las exigencias del trabajo de él y de una activa vida social, conseguían, la mayoría de los días, dedicar cinco horas a la ciencia (dos por la mañana temprano y tres al final de la jornada), así como todo el domingo, que ellos llamaban su *jour de bonheur*⁷ (día de la felicidad). No sabemos cómo Lavoisier se las arregló también para desempeñar el cargo de comisionado de la pólvora, supervisar la

construcción de una muralla alrededor de París que impidiera el contrabando, ayudar a elaborar el sistema métrico y ser coautor del manual *Método de nomenclatura química*, que se convirtió en guía normativa para los nombres de los elementos.

Como miembro destacado que era también de la Real Academia de Ciencias, le pidieron que se tomase un interés activo e informado por todos los temas de actualidad: el hipnotismo, la reforma de las prisiones, la respiración de los insectos, el suministro de agua a París... En el desempeño de esa función hizo, en 1780, ciertos comentarios despectivos⁸ sobre una nueva teoría de la combustión que había sido sometida a la academia por un científico joven y prometedor. La teoría era ciertamente errónea, pero el nuevo científico nunca se lo perdonó. Se llamaba Jean-Paul Marat.

Lo único que nunca llegó a hacer Lavoisier fue descubrir⁹ un elemento. En una época en que parecía que casi cualquiera que tuviese a mano un vaso de precipitados, una llama y unos polvos interesantes podía descubrir algo nuevo -y cuando, no por casualidad, unos dos tercios de los elementos aún

estaban por descubrir-, Lavoisier no consiguió descubrir ni uno solo. No fue por falta de vasos de precipitados, desde luego. Tenía 1.300 en lo que era, hasta un grado casi ridículo, el mejor laboratorio privado que existía.

En vez de descubrir él, se hizo cargo de los descubrimientos de otros y les dio sentido. Arrojó al basurero el flogisto y los aires mefíticos. Identificó el oxígeno y el hidrógeno como lo que eran y les dio a los dos sus nombres modernos. Ayudó a introducir rigor, claridad y método en la química.

Y su fantástico instrumental resultó verdaderamente muy útil. La señora Lavoisier y él se entregaron durante años a estudios que exigían muchísimo de ellos y que requerían de mediciones muy precisas. Demostraron, por ejemplo, que un objeto oxidado no pierde peso, como todo el mundo suponía desde hacía mucho, sino que lo ganaba; un descubrimiento extraordinario. El objeto atraía de algún modo al oxidarse partículas elementales del aire. Fue la primera vez que se comprendió que la materia se puede transformar, pero no eliminar. Si quemases ahora este libro, su materia se convertiría en ceniza y

humo, pero la cantidad de materia en el universo sería la misma. Esto acabaría conociéndose como la conservación de la masa, y fue un concepto revolucionario. Coincidió, por desgracia, con otro tipo de revolución, la francesa, y en ésta Lavoisier estaba en el bando equivocado.

No sólo era miembro de la odiada Ferme Générale, sino que había participado con gran entusiasmo en la construcción de la muralla que rodeaba París... una obra tan detestada que fue lo primero que se lanzaron a destruir los ciudadanos sublevados. Aprovechando esto, Marat, que se había convertido en una de las voces destacadas de la Asamblea Nacional, denunció en 1791 a Lavoisier, indicando que hacía ya tiempo que se le debería haber ejecutado. Poco después se clausuró la Ferme Générale. No mucho después, Marat fue asesinado en la bañera por una joven agraviada llamada Charlotte Corday, pero era demasiado tarde para Lavoisier.

En 1793 el reino del terror, intenso ya, alcanzó una intensidad aún mayor. En octubre fue enviada a la guillotina María Antonieta. Al mes siguiente, cuando Lavoisier hacía con su esposa planes tardíos para

escapar a Escocia, fue detenido. En mayo, 31 colegas suyos de la Ferme Générale comparecieron con él ante el Tribunal Revolucionario (en una sala de juicios presidida por un busto de Marat). A ocho de ellos se les concedió la absolución, pero Lavoisier y todos los demás fueron conducidos directamente a la Place de la Revolution (hoy Plaza de la Concordia), sede de la más activa de las guillotinas francesas. Lavoisier presenció cómo era guillotinado su suegro, luego subió al cadalso y aceptó su destino. Menos de tres meses después, el 27 de julio, era despachado del mismo modo y en el mismo lugar el propio Robespierre. Así ponía fin rápidamente al reino del terror.

Un centenar de años después de su muerte, se erigió en París una estatua de Lavoisier que fue muy admirada hasta que alguien indicó que no se parecía nada a él. Se interrogó al escultor, que acabó confesando que había utilizado la cabeza del marqués de Condorcet, matemático y filósofo -tenía al parecer un duplicado-, con la esperanza de que nadie lo advirtiese o que, si alguien lo advertía, le diese igual. Al final acertó, porque se permitió que la

estatua de Lavoisier y Condorcet siguiese en su lugar otro medio siglo, hasta la Segunda Guerra Mundial, en que la retiraron una mañana y la fundieron para chatarra.' °

A principios de la década de 1800 surgió en Inglaterra la moda de inhalar óxido nitroso, o gas de la risa, después de que se descubriese que su uso «provocaba una excitación sumamente placentera». ¹¹ Durante el medio siglo siguiente sería la droga favorita de los jóvenes. Una docta institución, la Sociedad Askesiana, se dedicó durante un tiempo a poco más. Los teatros organizaban «veladas de gas de la risa»¹² en las que los voluntarios podían reconfortarse con una vigorosa inhalación y divertirse luego al público con sus cómicos tambaleos.

Hasta 1846 no apareció nadie que descubriese un uso práctico del óxido nitroso como anestésico. Quién sabe cuántas decenas de miles de personas padecieron calvarios innecesarios bajo la cuchilla del cirujano porque a nadie se le había ocurrido la aplicación práctica más evidente de ese gas.

Menciono esto para indicar que la química, que había avanzado tanto en el siglo xviii, pareció per-

der la brújula durante las primeras décadas del siglo xix, de una forma muy parecida a lo que sucedería con la geología en los primeros años del siglo xx. Esto se debió en parte a las limitaciones del instrumental (no hubo, por ejemplo, centrifugadores hasta la segunda mitad del siglo, lo que limitó notoriamente muchos tipos de experimentos)

y en parte a causas sociales. La química era, salvando excepciones, una ciencia para hombres de negocios, para los que trabajaban con el carbón, la potasa y los tintes, y no para caballeros quienes se sentían atraídos por la geología, la historia natural y la física. (Esto era un poco menos frecuente en la Europa continental que en Inglaterra.) Resulta revelador que una de las observaciones más importantes del siglo, el movimiento browniano, que demostró la naturaleza activa de las moléculas, no la hiciese un químico sino un botánico escocés, Robert Brown. (Lo que observó Brown¹³ en 1827 fue que pequeños granos de polen suspendidos en agua se mantenían indefinidamente en movimiento, por mucho tiempo que se los dejase reposar. La causa de este movimiento perpetuo, es decir, las acciones

de moléculas invisibles, permaneció mucho tiempo en el misterio.)

Podrían haber ido peor las cosas si no hubiese sido por un personaje espléndido e inverosímil, el conde Von Rumford, que, a pesar de la prosapia de su título, inició su vida en Woburn, Massachusetts, en 1753, simplemente como Benjamin Thompson. Thompson era apuesto y ambicioso, «agraciado de rostro y de talle», valeroso a veces y excepcionalmente inteligente, pero inmune a algo tan poco práctico como los escrúpulos. A los diecinueve años se casó con una viuda rica catorce años mayor que él, pero al estallar la revolución en las colonias se puso imprudentemente del lado de los leales a la metrópoli, espiando durante un tiempo para ellos. En el año fatídico de 1776, ante el peligro de que le detuviesen «por tibieza en la causa de la libertad», abandonó a su mujer y a su hijo y huyó perseguido por una multitud de revolucionarios armados con cubos de alquitrán, sacos de plumas y un ardiente deseo de adornarle con ambas cosas.

Se trasladó primero a Inglaterra y luego a Alemania, donde sirvió como asesor militar del Gobierno

de Baviera, impresionando tanto a las autoridades de allí que en 1791 le nombraron conde Von Rumford del Sacro Imperio romano-germánico. Durante su estancia en Múnich diseñó también y dirigió la construcción del famoso parque conocido como el Jardín Inglés.

Entre estas diversas tareas, halló tiempo para realizar bastantes trabajos científicos sólidos. Se convirtió en la máxima autoridad mundial en termodinámica y fue el primero que determinó los principios de la convección de fluidos y la circulación de las corrientes marinas. Inventó también varios objetos útiles, entre ellos una cafetera de goteo, ropa interior térmica y un tipo de cocina que aún se conoce por su nombre. En 1805, durante una temporada que pasó en Francia, cortejó a la señora Lavoisier, viuda de Antoine Laurent, y acabó casándose con ella. El matrimonio no tuvo éxito y no tardaron en separarse. Rumford siguió en Francia donde murió en 1814, universalmente estimado por todos salvo por sus antiguas esposas.

La razón de que le mencionemos aquí es que en 1799, durante un intermedio relativamente breve en

Londres, fundó la Institución Real, otra más de las muchas sociedades científicas que surgieron por toda Inglaterra a finales del siglo xviii y principios del xix. Durante un tiempo fue casi la única sociedad científica de talla que fomentó activamente la joven ciencia de la química, y eso fue gracias casi enteramente a un joven brillante llamado Humphry Davy, quien fue nombrado profesor de química de la institución poco después de su fundación, no tardando en hacerse famoso como destacado conferenciante y fecundo experimentalista.

Poco después de tomar posesión de su cargo, empezó a descubrir nuevos elementos, uno detrás de otro: potasio, sodio, magnesio, calcio, estroncio y aluminio." No por ser sumamente bueno para las series descubrió tantos elementos, sino porque ideó una ingeniosa técnica de aplicación de la electricidad a una sustancia fundida que se conoce con el nombre de electrolisis. Descubrió una docena de elementos, una quinta parte del total de los conocidos en su época. Podría haber hecho mucho más, pero desgraciadamente había desarrollado durante la juventud una afición irrevocable a los alegres place-

res del ácido nitroso. Llegó a estar tan habituado al gas que recurría a su inspiración (literalmente) tres o cuatro veces al día. Se cree que ésta fue la causa de su muerte en 1829.

Había, por suerte, gente más sobria trabajando en otros sitios. En 1808 un adusto cuáquero llamado John Dalton se convirtió en la primera persona que predijo la naturaleza del átomo (una cuestión que se analizará con mayor detalle más adelante) y, en 1811, un italiano con el espléndido nombre operístico de Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro, conde de Quarequa y Cerreto, hizo un descubrimiento que resultaría enormemente significativo a largo plazo: dos volúmenes iguales de gases, sean del tipo que sean, si se mantiene invariable la presión y la temperatura, contendrán igual número de moléculas.

Había dos cosas notables en el Principio de Avogadro (como se denominó) tan atractivamente simple. Primero, proporcionaba una base para una medición más precisa del tamaño y el peso de los átomos. Utilizando los cálculos de Avogadro los químicos podían llegar a descubrir, por ejem-

" En inglés hay una doble grafía del término (*aluminum* / *aluminium*) debida a cierta indecisión característica de Davy. Cuando aisló el elemento por primera vez en 1808, le llamó *aluminium*. Por alguna razón se lo pensó mejor y, cuatro años después, lo cambió por *aluminum*. Los estadounidenses adoptaron diligentemente el nuevo término, pero a muchos ingleses no les gustó *aluminum*, porque decían que incumplía la regla del *-ium* establecida por el sodio (*sodium*), el calcio (*calcium*) y el estroncio (*strontium*), así que añadieron una vocal y una sílaba. Entre los otros éxitos de Davy figura la invención del casco de seguridad de minero. (*N. del A.*)

plo, que un átomo característico tenía un diámetro de 0,00000008 centímetros,¹⁵ que es realmente muy poco. La segunda cosa notable fue que casi nadie se enteró de ello durante casi cincuenta años.*

Esto se debió en parte a que el propio Avogadro era un individuo retraído (trabajaba solo, mantenía muy poca correspondencia con otros científicos, publicó pocos artículos y no asistía a congresos ni reuniones de científicos), pero también se debió a que no había reuniones a las que asistir y pocas

revistas químicas en las que publicar. Se trata de un hecho bastante extraordinario. La revolución industrial progresaba impulsada en gran parte por avances de la química y, sin embargo, la química como ciencia organizada apenas si existió durante varias décadas.

La Sociedad Química de Londres no se fundó hasta 1841 y no empezó a publicar una revista regular hasta 1848, fecha en la que la mayoría de las sociedades científicas de Inglaterra (la Geológica, la Geográfica, la Zoológica, la de Horticultura y la Linneana, para naturalistas y botánicos) tenía un mínimo de veinte años de antigüedad y, en algunos casos, muchos más. El Instituto de Química rival no se creó hasta 1877, un año después de la fundación *de* la Sociedad Química Estadounidense. Como la química se organizó con tanta lentitud, la noticia del importante descubrimiento de Avogadro de 1811 no empezó a hacerse general hasta el primer congreso internacional de química, que se celebró en Karlsruhe en 1860.

Como los químicos estuvieron tanto tiempo en esas condiciones de aislamiento, tardaron en organizarse

congresos. Hasta bien entrada la segunda mitad del siglo, la fórmula H_2O , podía significar agua para un químico y peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) para otro. C_2H_4 podía significar etileno o gas de los pantanos (metano). Apenas si había una molécula que estuviese representada de un modo uniforme en todas partes.

Los químicos utilizaban también una variedad desconcertante de símbolos y abreviaturas, y era frecuente que cada uno inventase las suyas. El sueco J. J. Berzelius introdujo un nivel muy necesario de orden en

* El principio condujo a la adopción muy posterior del número de Avogadro, una unidad básica de medición en química, que recibió el nombre de Avogadro mucho después de la muerte de éste. Es el número de moléculas que contienen 2,016 gramos de gas hidrógeno (o un volumen igual de cualquier otro gas). Su valor se calcula en $6,0221367 \times 10^{23}$, que es un número enormemente grande. Los estudiantes de química se han entretenido durante mucho tiempo en calcular lo grande que puede llegar a ser exactamente, así que puedo informar de que es equiva-

lente al número de panojas de maíz necesarias para cubrir Estados Unidos hasta una altura de 1,5 kilómetros, de tazas de agua necesarias para vaciar el océano Pacífico o de latas de refrescos necesarias para cubrir la Tierra, cuidadosamente apiladas, hasta una altura de 3 2.0 kilómetros. Un número equivalente de centavos estadounidenses bastaría para hacer a cada uno de los habitantes del planeta billonarios en dólares. Es un número grande. (*N. del A.*)

las cosas al decidir que había que abreviar los elementos basándose en sus nombres griegos o latinos, que es la razón de que la abreviatura del hierro sea Fe (del latín *ferrum*) y la de la plata sea Ag (del latín *argentum*). Que tantas otras abreviaturas se ajusten a sus nombres ingleses (N para el nitrógeno, O para el oxígeno, H para el hidrógeno, etcétera) se debe al carácter latino del inglés, no a su condición excelsa. Para indicar el número de átomos de una molécula, Berzelius empleó un superíndice numérico, como en H₂O. Más tarde, sin que mediara ninguna razón especial, 1⁶ se puso de moda utilizar en vez de un superíndice numérico un subíndice: H₂O.

A pesar de las ordenaciones esporádicas, la química era en la segunda mitad del siglo XIX un galimatías, por eso, en 1896, complació tanto a todo el mundo la aportación de un extraño profesor con cara de loco de la Universidad de San Petersburgo llamado Dimitri Ivanovich Mendeleev.

Mendeleev (también llamado por algunos Mendeleev o Mendeléef) nació en 1834 en Tobolsk, en el lejano oeste de Siberia, en una familia culta, razonablemente próspera y muy grande... tan grande, en realidad, que la historia ha perdido la pista de exactamente cuántos Mendeleev hubo: unas fuentes dicen que eran catorce, otras que diecisiete. Todas están de acuerdo, al menos, en que Dimitri era el más joven.

La suerte no favoreció siempre a los Mendeleev.¹⁷ Cuando Dimitri era pequeño su padre, director de una escuela de la localidad, se quedó ciego y su madre tuvo que ponerse a trabajar. Era, sin duda alguna, una mujer extraordinaria, ya que acabó convirtiéndose en directora de una próspera fábrica de cristal. Todo iba bien hasta que en 1848 un incendio destruyó la fábrica y la familia se vio reducida a la

miseria. Decidida a conseguir que su hijo más pequeño estudiase una carrera, la indomable señora Mendeleev recorrió en autoestop, con el joven Dimitri, los más de 6. 000 kilómetros que había hasta San Petersburgo (lo que equivale a viajar desde Londres a la Guinea Ecuatorial), donde le depositó en el Instituto de Pedagogía. Agotada por tan tremendo esfuerzo, murió poco después.

Mendeleev terminó diligentemente sus estudios y acabó consiguiendo un puesto en la universidad local. Era allí un químico competente pero que no destacaba demasiado," al que se conocía más por la barba y el pelo enmarañado, los cuales sólo se cortaba una vez al año, que por sus dotes en el laboratorio.

Sin embargo, en 1869, cuando tenía treinta y cinco años, empezó a darle vueltas a la idea de encontrar una forma de ordenar los elementos. Por entonces, los elementos se agrupaban de dos maneras: bien por el peso atómico (valiéndose del Principio de Avogadro), bien por propiedades comunes (si eran metales o gases, por ejemplo). Mendeleev se dio

cuenta de que podían combinarse las dos cosas en una sola tabla.

Como suele suceder en la ciencia, el principio lo había anticipado ya tres años atrás un químico aficionado inglés llamado John Newlands. Éste había comentado que, cuando se ordenaban los elementos por el peso, parecían repetirse ciertas propiedades (armonizarse en cierto modo) en cada octavo lugar a lo largo de la escala. Newlands, un poco imprudentemente, pues se trataba de una ocurrencia cuyo momento no había llegado aún,⁹ llamó a esta idea la Ley de los Octavos y comparó la disposición de los octavos a la del teclado de un piano. Tal vez hubiese algo raro en la forma de presentación de Newlands, porque el caso es que se consideró la idea fundamentalmente ridícula y se hicieron muchas bromas a su costa. En las reuniones, los miembros más graciosos del público a veces le preguntaban si podía conseguir que sus elementos les tocasen una pequeña melodía. Newlands, descorazonado, dejó de proponer la idea y no tardó en perderse de vista.

Mendeleyev utilizó un enfoque algo distinto, distribuyendo los elementos en grupos de siete, pero empleó básicamente la misma premisa. De pronto la idea pareció inteligente y maravillosamente perspicaz. Como las propiedades se repetían periódicamente, el invento pasó a conocerse como la Tabla Periódica.

Se dice que a Mendeleyev le inspiró ese juego de cartas que se llama solitario, en que las cartas se ordenan horizontalmente por el palo y verticalmente por el número. Utilizando un concepto similar en líneas generales, dispuso los elementos en hileras horizontales llamadas periodos y en columnas verticales llamadas grupos. Esto mostraba inmediatamente un conjunto de relaciones cuando se leían de arriba abajo y otro cuando se hacía de lado a lado. Las columnas verticales agrupaban en concreto sustancias químicas que tenían propiedades similares. Así, el cobre está encima de la plata y la plata encima del oro por sus afinidades químicas como metales, mientras que el helio, el neón y el argón están en una columna compuesta por gases. (El determinante concreto y oficial de la ordenación es algo que

se llama las valencias electrónicas y si quieres entender lo que son tendrás que apuntarte a clases nocturnas.) Las hileras horizontales, por otra parte, disponen las sustancias químicas por orden ascendente según el número de protones de sus núcleos, que es lo que se conoce como su número atómico.

La estructura de los átomos y lo que significan los protones se tratarán en el capítulo siguiente; de momento, lo único que hace falta es apreciar el principio organizador: el hidrógeno tiene sólo un protón, por lo que su número atómico es 1 y ocupa el primer puesto de la tabla; el uranio tiene 92 protones y, por eso, figura casi al final y su número atómico es 92. En este sentido, como ha señalado Philip Ball, la química es en realidad sólo cuestión de contar. /° (Por cierto, no debe confundirse el número atómico

con el peso atómico, que es el número de protones más el número de neutrones de un elemento determinado.)

Había aún mucho que no se sabía ni se comprendía. El hidrógeno es el elemento que más abunda en el universo y, sin embargo, nadie llegaría a sospe-

charlo en otros treinta años. El helio, que ocupa el segundo lugar por su abundancia, no se había descubierto hasta un año antes -ni siquiera se había sospechado su existencia-, y no en la Tierra sino en el Sol, donde se localizó con un espectroscopio durante un eclipse solar, que es la razón de que se honre con su nombre al dios sol Helios. No se aislaría hasta 1895. Incluso así, gracias al invento de Mendeleev, la química pisaba ya terreno firme.

Para la mayoría de nosotros, la Tabla Periódica es algo bello en abstracto, pero para los químicos introdujo una claridad y un orden de incalculable valor. «La Tabla Periódica de los Elementos Químicos es, sin duda, el cuadro organizativo más elegante que se haya inventado jamás », ²¹ escribió Robert E. Krebs en *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements* [Historia y uso de los elementos químicos de la Tierra], y pueden hallarse comentarios similares en casi todas las historias de la química que se han publicado.

El número de elementos que conocemos hoy es de «unos ciento veinte». ²² Hay noventa y dos que aparecen en la naturaleza más un par de docenas que

han sido creados en laboratorios. El número exacto es un poco polémico porque los elementos pesados sintetizados sólo existen millonésimas de segundo, y los químicos discuten a veces sobre si se han detectado realmente o no. En tiempos de Mendeleev, sólo se conocían 63 elementos, pero parte de su mérito fue darse cuenta de que los elementos tal como se conocían entonces no constituían un cuadro completo, pues faltaban muchas piezas. Su tabla predijo, con agradable exactitud, dónde encajarían los nuevos elementos cuando se hallasen.

Nadie sabe, por otra parte, hasta dónde podría llegar el número de elementos, aunque todo lo situado por encima de 168 como peso atómico se considera «puramente especulativo»;²³ pero lo que es seguro es que todo lo que se encuentre encajará limpiamente en el gran esquema de Mendeleev.

El siglo xix guardaba una última sorpresa importante para los químicos. Todo empezó en París, en 1896, cuando Henri Becquerel dejó des^preocupadamente un paquete de sales de uranio en un cajón, encima de una placa fotográfica enrollada. Cuando

sacó la placa algún tiempo después, se quedó sorprendido al ver que las sales habían dejado una impresión en ella, exactamente igual que si la placa se hubiese expuesto a la luz. Las sales emitían algún tipo de rayos.

Becquerel, dándose cuenta de la importancia de lo que había descubierto, hizo una cosa extraña: trasladó el problema a una estudiante gra-

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uu	Uuu	Uub						
LANTANIDOS		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
ACTINIDOS		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

dua para que lo investigase. Afortunadamente esa estudiante era una polaca recién emigrada llamada Marie Curie. Marie descubrió, trabajando con su nuevo marido Pierre, que ciertos tipos de piedras desprendían unas cantidades extraordinarias y cons-

tantes de energía, pero sin disminuir de tamaño ni modificarse de forma apreciable. Lo que ni ella ni su marido podían saber -lo que nadie podía saber hasta que Einstein explicase las cosas en la década siguiente- era que aquellas piedras estaban transformando la masa en energía con una eficacia excepcional. Marie Curie denominó a este fenómeno «radiactividad».²⁴ Durante estos trabajos, los Curie descubrieron también dos nuevos elementos: el polonio, que llamaron así por su país natal, y el radio. Becquerel y los Curie fueron galardonados conjuntamente con el premio Nobel de Física en 1903. (Marie Curie ganaría un segundo Nobel, de Química, en 1911; es la única persona que ha obtenido los dos, el de Física y el de Química.)

El joven neozelandés Ernest Rutherford, por entonces profesor de física en la Universidad McGill de Montreal, empezó a interesarse por los nuevos materiales radiactivos. Y descubrió, trabajando con un colega llamado Frederick Soddy, que había encerradas inmensas reservas de energía en aquellas pequeñas cantidades de materia, y que la desintegración radiactiva de aquellas reservas podía expli-

car la mayor parte del calor de la Tierra. Descubrieron también que los elementos radiactivos se desintegraban en otros elementos: un día tenías, por ejemplo, un átomo de uranio y al siguiente tenías un átomo de plomo. Esto era verdaderamente extraordinario. Era pura y simple alquimia; nadie había imaginado jamás que pudiese pasar tal cosa de una forma natural y espontánea.

Rutherford, siempre pragmático, fue el primero que comprendió que aquello podría tener una aplicación práctica. Se dio cuenta de que en todas las muestras de material radiactivo siempre tardaba el mismo tiempo en desintegrarse la mitad de la muestra (la célebre vida media)* y que

* Si te has preguntado alguna vez cómo determinan los átomos qué 50 % morirá y qué 50 % sobrevivirá para la sesión siguiente, la respuesta es que lo de la vida media no es en realidad más que una convención estadística, una especie de tabla actuarial para cosas elementales. Imagina que tuvieses una muestra de material con una vida media de 3 o segundos. No se trata de que cada átomo de la muestra exista exactamente durante 30 segundos, 60, 90 o

algún otro periodo limpiamente definido. Todos los átomos sobrevivirán en realidad durante toda una extensión de tiempo totalmente al azar que nada tiene que ver con múltiplos de 30; podría durar incluso dos segundos a partir de ahora o podría ir fluctuando durante años, décadas o siglos futuros. Nadie puede saberlo. Pero lo que podemos saber es que, para la muestra en su conjunto, la tasa de desintegración será tal que la mitad de los átomos desaparecerán cada 30 segundos. Es decir, es una tasa media, y se puede aplicar a cualquier muestra grande. Alguien calculó una vez, por ejemplo, que las monedas estadounidenses de 10 centavos tenían una vida media de unos 30 años. (*N. del A.*)

esa tasa firme y segura de desintegración se podía utilizar como una especie de reloj. Calculando hacia atrás cuánta radiación tenía un material en el presente y con qué rapidez se estaba desintegrando, podías determinar su edad. Así que examinó una muestra de pechblenda, la principal mena de uranio, y descubrió que tenía 700 millones de años de antigüedad, que era mucho más vieja que la edad que la mayoría de la gente estaba dispuesta a conceder a la Tierra.

En la primavera de 1904 Rutherford viajó a Londres para dar una conferencia en la Institución Real, la augusta organización fundada por *el* conde Von Rumford sólo 105 años antes, aunque aquellos tiempos de pelucas empolvadas pareciesen ya a un eón de distancia comparados con la robustez despreocupada de los victorianos tardíos. Rutherford estaba allí para hablar sobre su nueva teoría de la desintegración de la radiactividad, y enseñó como parte de su exposición su muestra de pechblenda. Comentó, con tacto -pues estaba presente, aunque no siempre del todo despierto, el anciano Kelvin-, que el propio Kelvin había dicho que el descubrimiento de otra fuente de calor invalidaría sus cálculos. Rutherford había encontrado esa otra fuente. Gracias a la radiactividad, la Tierra podía ser -y demostraba ser- mucho más antigua que los 24 millones de años que los últimos cálculos de Kelvin admitían.

A Kelvin le complació mucho la respetuosa exposición de Rutherford, pero no le hizo modificar lo más mínimo su posición. Nunca aceptó las cifras revisadas²⁵ y siguió creyendo hasta el día de su

muerte que su trabajo sobre la edad de la Tierra era su aportación más inteligente e importante a la ciencia... mucho mayor que sus trabajos de termodinámica.

Los nuevos descubrimientos de Rutherford no fueron universalmente bien recibidos, como suele pasar con la mayoría de las revoluciones científicas. John Joly, de Dublín, insistió enérgicamente hasta bien entrada la década de los treinta, en que la Tierra no tenía más de 89 millones de años de antigüedad y sólo dejó de hacerlo porque se murió. Otros empezaron a preocuparse porque Rutherford les había dado ahora demasiado tiempo. Pero, incluso con la datación radiométrica, como pasaron a llamarse las mediciones basadas en la desintegración, aún se tardaría décadas en llegar a mil millones de años o así de la verdadera edad de la Tierra. La ciencia estaba en el buen camino, pero lejos del final.

Kelvin murió en 1907. En ese mismo año murió también Dimitri Mendeleev. Como en el caso de Kelvin, su trabajo productivo quedaba ya muy atrás, pero sus años de decadencia fueron notablemente

menos serenos. Con los años, Mendeleev fue haciéndose cada vez más excéntrico (se negó a aceptar la existencia de la radiación y del electrón y de muchas otras cosas nuevas) y más problemático. Pasó sus últimas déca-

das abandonando furioso laboratorios y salas de conferencias de toda Europa. En 1955 se denominó mendelevio al elemento 101 en su honor. «Es, apropiadamente -comenta Paul Strathern-, un elemento inestable.»²⁶

La radiación, por supuesto, siguió y siguió, literalmente y de formas que nadie esperaba. A principios de la década de 1900, Pierre Curie empezó a experimentar claros signos de radiopatía, la enfermedad causada por la radiación (principalmente dolores en los huesos y una sensación crónica de malestar) y que es muy probable que se hubiese agudizado desagradablemente. Nunca lo sabremos seguro porque, en 1906, murió atropellado por un carruaje cuando cruzaba una calle de París.

Marie Curie pasó el resto de su vida trabajando con distinción en su campo y colaboró en la creación del célebre Instituto de Radio de la Universidad de Pa-

rís, que se fundó en 1914. A pesar de sus dos premios Nobel, nunca fue elegida para la Academia de Ciencias, en gran medida porque después de la muerte de Pierre tuvo una relación con un físico casado lo suficientemente indiscreta para escandalizar incluso a los franceses... o al menos a los viejos que dirigían la Academia, que es quizás una cuestión distinta.

Durante mucho tiempo se creyó que una cosa tan milagrosamente energética como la radiactividad tenía que ser beneficiosa. Los fabricantes de dentífricos y de laxantes pusieron durante años torio radiactivo en sus productos y, al menos hasta finales de la década de los veinte, el Hotel Glen Springs de la región de Finger Lakes, Nueva York (y otros más, sin duda), proclamaron los efectos terapéuticos de sus «fuentes minerales radiactivas».²⁷ No se prohibió el uso en los artículos de consumo hasta 1938.²⁸ Por entonces era ya demasiado tarde para la señora Curie, que murió de leucemia en 1934. En realidad, la radiación es tan perniciosa y duradera que, incluso hoy, sus documentos de la década de 1890 (hasta sus libros de cocina) son demasiado peligrosos y no

se pueden utilizar. Sus libros de laboratorio se guardan en cajas forradas de plomo ²⁹ y quienes quieren verlos tienen que ponerse ropa especial.

Gracias al abnegado trabajo de los primeros científicos atómicos, que no sabían que corrían tanto peligro, en los primeros años del siglo xx empezaba a verse claro que la Tierra era indiscutiblemente venerable, aunque todavía haría falta otro medio siglo de ciencia para que alguien pudiese decir con seguridad cuánto. Entre tanto, la ciencia estaba a punto de alcanzar una nueva era propia: la atómica.

EL PODEROSO ÁTOMO

Mientras Einstein y Hubble desvelaban con eficacia la estructura del cosmos a gran escala, otros se esforzaban por entender algo más próximo pero igualmente remoto a su manera: el diminuto y siempre misterioso átomo.

El gran físico del Instituto Tecnológico de California, Richard Feynman, dijo una vez que si hubiese que reducir la historia científica a una declaración importante, ésta sería: «Todas las cosas están compuestas por átomos» Están en todas partes y lo forman todo. Mira a tu alrededor. Todo son átomos. No sólo los objetos sólidos como las paredes, las mesas y los sofás, sino el aire que hay entre ellos. Y están ahí en cantidades que resultan verdaderamente inconcebibles.

La disposición operativa fundamental de los átomos es la molécula (que significa en latín «pequeña

masa»). Una molécula es simplemente dos o más átomos trabajando juntos en una disposición más o menos estable: si añades dos átomos de hidrógeno a uno de oxígeno, tendrás una molécula de agua. Los químicos suelen pensar en moléculas más que en elementos, lo mismo que los escritores suelen pensar en palabras y no en letras, así que es con las moléculas con las que cuentan ellos, y son, por decir poco, numerosas. Al nivel del mar y a una temperatura de 0 °C, un centímetro cúbico de aire (es decir, un espacio del tamaño aproximado de un terrón de azúcar) contendrá 45.000 millones de millones de moléculas./ Y ese es el número que hay en cada centímetro cúbico que ves a tu alrededor. Piensa cuántos centímetros cúbicos hay en el mundo que se extienden al otro lado de tu ventana, cuántos terrones de azúcar harían falta para llenar eso. Piensa luego cuántos harían falta para construir un universo. Los átomos son, en suma, muy abundantes.

Son también fantásticamente duraderos. Y como tienen una vida tan larga, viajan muchísimo. Cada uno de los átomos que tú posees es casi

seguro que ha pasado por varias estrellas y ha formado parte de millones *de* organismos en el camino que ha recorrido hasta llegar a ser tú. Somos atómicamente tan numerosos y nos reciclamos con tal vigor al morir que, un número significativo de nuestros átomos (más de mil millones de cada uno de nosotros,³ según se ha postulado), probablemente pertenecieron alguna vez a Shakespeare. Mil millones más proceden de Buda, de Gengis Kan, de Beethoven y de cualquier otro personaje histórico en el que puedas pensar (los personajes tienen que ser, al parecer, históricos, ya que los átomos tardan unos decenios en redistribuirse del todo; sin embargo, por mucho que lo desees, aún no puedes tener nada en común con Elvis Presley).

Así que todos somos reencarnaciones, aunque efímeras. Cuando muramos, nuestros átomos se separarán y se irán a buscar nuevos destinos en otros lugares (como parte de una hoja, de otro ser humano o de una gota de rocío). Sin embargo, esos átomos continúan existiendo prácticamente siempre.⁴ Nadie sabe en realidad cuánto tiempo puede sobrevivir un átomo pero, según Martin Rees, probablemente

unos 10^{35} años, un número tan elevado que hasta yo me alegro de poder expresarlo en notación matemática.

Sobre todo, los átomos son pequeños, realmente diminutos. Medio millón de ellos alineados hombro con hombro podrían esconderse detrás de un cabello humano. A esa escala, un átomo solo es en el fondo imposible de imaginar, pero podemos intentarlo.

Empieza con un milímetro, que es una línea así de larga: -. Imagina ahora esa línea dividida en mil espacios iguales. Cada uno de esos espacios es una micra. Ésta es la escala de los microorganismos. Un paramecio típico, por ejemplo (se trata de una diminuta criatura unicelular de agua dulce) tiene unas dos micras de ancho (0,002 milímetros), que es un tamaño realmente muy pequeño. Si quisieses ver a simple vista un paramecio nadando en una gota de agua, tendrías que agrandar la gota hasta que tuviese unos doce metros de anchura. Sin embargo, si quisieses ver los átomos de esa misma gota, tendrías que ampliarla hasta que tuviese z_4 kilómetros de anchura.

Dicho de otro modo, los átomos existen a una escala de diminuez de un orden completamente distinto. Para descender hasta la escala de los átomos, tendrías que coger cada uno de esos espacios de micra y dividirlo en 10.000 espacios más pequeños. *Ésa* es la escala de un átomo: una diezmillonésima de milímetro. Es un grado de pequeñez que supera la capacidad de nuestra imaginación, pero puedes hacerte una idea de las proporciones si tienes en cuenta que un átomo es, respecto a la línea de un milímetro de antes, como el grosor de una hoja de papel respecto a la altura del Empire State.

La abundancia y la durabilidad extrema de los átomos es lo que los hace tan útiles. Y la pequeñez es lo que los hace tan difíciles de detectar y de comprender. La idea de que los átomos son esas tres cosas (pequeños, numerosos y prácticamente indestructibles) y que todas las cosas se componen de átomos, no se le ocurrió a Antoine-Lautrent Lavoisier, como cabría esperar, ni siquiera a Henry Cavendish ni a Humphry Davy, sino más bien a un austero cuáquero inglés de escasa formación aca-

démica, llamado John Dalton, con quien ya nos encontramos en el capítulo 7.

Dalton nació en 1766, en la región de los lagos, cerca de Cockermouth, en el seno de una familia de tejedores cuáqueros pobres y devotos. (Cuatro años después se incorporaría también al mundo en Cockermouth el poeta William Wordsworth.) Dalton era un estudiante de una inteligencia excepcional, tanto que a los doce años, una edad increíblemente temprana, le pusieron al cargo de la escuela cuáquera local. Eso quizás explique tanto sobre la escuela como sobre la precocidad de Dalton, pero tal vez no: sabemos por sus diarios que, por esas mismas fechas, estaba leyendo los *Principia* de Newton -los leía en el original, en latín- y otras obras de una envergadura igual de formidable; a los quince años, sin dejar de enseñar en la escuela, aceptó un trabajo en el pueblo cercano de Kendal y, diez años después, se fue a Manchester de donde apenas se movió en los cincuenta restantes años de su vida. En Manchester se convirtió en una especie de torbellino intelectual: escribió libros y artículos sobre temas que abarcaban desde la meteorología hasta la gra-

mática. La ceguera cromática, una enfermedad que padecía, se denominó durante mucho tiempo daltonismo por sus estudios sobre ella. Pero lo que le hizo famoso fue un libro muy gordo titulado *Un nuevo sistema de filosofía química*, publicado en 1808.

En ese libro, en un breve capítulo de cinco páginas -de las más de novecientas que tenía-, los ilustrados encontraron por primera vez átomos en una forma que se aproximaba a su concepción moderna. La sencilla idea de Dalton era que en la raíz de toda la materia hay partículas irreductibles extraordinariamente pequeñas. «Tan difícil sería introducir un nuevo planeta en el sistema solar,⁶ o aniquilar uno ya existente, como crear o destruir una partícula de hidrógeno», decía.

Ni la idea de los átomos ni el término mismo eran exactamente nuevos. Ambas cosas procedían de los antiguos griegos. La aportación de Dalton consistió en considerar los tamaños relativos y las características de estos átomos y cómo se unían. Él sabía, por ejemplo, que el hidrógeno era el elemento más ligero, así que le asignó un peso atómico de uno. Creía

también que el agua estaba formada por siete partes de oxígeno y una de hidrógeno, y asignó en consecuencia al oxígeno un peso atómico de siete. Por ese medio, pudo determinar los pesos relativos de los elementos conocidos. No fue siempre terriblemente exacto, el peso atómico del oxígeno es 16 en realidad, no 7, pero el principio era sólido y constituyó la base de toda la química moderna y de una gran parte del resto de la ciencia actual.

La obra hizo famoso a Dalton, aunque de una forma modesta, como correspondía a un cuáquero inglés. En 1826, el químico francés P. J. Pelletier fue hasta Manchester⁷ para conocer al héroe atómico. Esperaba que estuviese vinculado a alguna gran institución, así que se quedó asombrado al encontrarle enseñando aritmética elemental a los niños de una pequeña escuela de un barrio pobre. Según el historiador de la ciencia E. J. Holmyard, Pelletier tartamudeó⁸ confuso contemplando al gran hombre:

«Est-ce que j'ai l'honneur de m'adresser à monsieur Dalton?», pues le

costaba creer lo que veían sus ojos, que aquel fuese el químico famoso en toda Europa y que estuviese

enseñando a un muchacho las primeras cuatro reglas. «Sí -repuso el cuáquero con total naturalidad-. ¿Podría sentarse y esperar un poco, que estoy explicando a este muchacho aritmética?»

Aunque Dalton intentó rehuir todos los honores, le eligieron miembro de la Real Sociedad contra su voluntad, lo cubrieron de medallas y le concedieron una generosa pensión oficial. Cuando murió, en 1844, desfilaron ante su ataúd cuarenta mil personas, y el cortejo fúnebre se prolongó más de tres kilómetros.⁹ Su entrada del *Dictionary of National Biography* es una de las más largas, sólo compite en extensión entre los científicos del siglo xix con las de Darwin y Lyell.

La propuesta de Dalton siguió siendo sólo una hipótesis durante un siglo¹⁰ y unos cuantos científicos eminentes (entre los que destacó el físico vienés Ernst Mach, al que debe su nombre la velocidad del sonido) dudaron de la existencia de los átomos. «Los átomos no pueden apreciarse por los sentidos... son cosas del pensamiento», escribió. Tal era el escepticismo con que se contemplaba la existencia de los átomos en el mundo de habla alemana, en

particular, que se decía que había influido en el suicidio del gran físico teórico y entusiasta de los átomos Ludwig Boltzmann en 1906."

Fue Einstein quien aportó en 1905 la primera prueba indiscutible de la existencia de los átomos, con su artículo sobre el movimiento browniano, pero esto despertó poca atención y, de todos modos, Einstein pronto se vería absorbido por sus trabajos sobre la relatividad general. Así que el primer héroe auténtico de la era atómica, aunque no el primer personaje que salió a escena, fue Ernest Rutherford.

Rutherford nació en 1871 en el interior de Nueva Zelanda, de padres que habían emigrado de Escocia para cultivar un poco de lino y criar un montón de hijos (parafraseando a Steven Weinberg).¹² Criado en una zona remota de un país remoto, estaba todo lo alejado que se podía estar de la corriente general de la ciencia, pero en 1895 obtuvo una beca que le llevó al Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, que estaba a punto de convertirse en el lugar más interesante del mundo para estudiar la física.

Los físicos son notoriamente despectivos con los científicos de otros campos. Cuando al gran físico austriaco Wolfgang Paul le abandonó su mujer por un químico, no podía creérselo. «Si hubiese elegido un torero^{1 3} lo habría entendido -comentó asombrado a un amigo-. Pero un *químico*...»

Era un sentimiento que Rutherford habría entendido.^{1 4} «La ciencia es toda ella o física o filatelia», dijo una vez, una frase que se ha utilizado muchas veces desde entonces. Hay por tanto cierta ironía simpática en que le diesen el premio Nobel de Química en 1908 y no el de Física.

Rutherford fue un hombre afortunado... afortunado por ser un genio, pero aún más afortunado por vivir en una época en que la física y la química eran muy emocionantes y compatibles (pese a sus propios sentimientos). Nunca volverían a solaparse tan cómodamente.

Pese a todo su éxito, Rutherford no era una persona demasiado brillante y no se le daban demasiado bien las matemáticas. Era frecuente que se perdiese en sus propias ecuaciones en sus clases, hasta el punto de verse obligado a medio camino a renunciar

y a decirles a sus alumnos que lo resolviesen ellos por su cuenta.¹⁵ Según James Chadwick, que fue colega suyo mucho tiempo, y que descubrió el neutrón, ni siquiera se le daba demasiado bien la experimentación. Era simplemente tenaz y objetivo. Se valía de la astucia y de una audacia especial más que de la inteligencia. Según un biógrafo, su mente «se dirigía siempre hacia las fronteras, todo lo lejos que podía llegar," y eso era siempre ir mucho más lejos de lo que podían llegar la mayoría de los hombres». Enfrentado a un problema insoluble, estaba dispuesto a trabajar en él con más ahínco y durante más tiempo que la mayoría de la gente y a ser más receptivo a las explicaciones heterodoxas. Su mayor descubrimiento se produjo porque estaba dispuesto a pasarse horas infinitamente tediosas, sentado frente a una pantalla, contando los centelleos de las denominadas partículas alfa, que era el tipo de tarea que normalmente se encargaba a otro. Fue uno de los primeros (puede que el primero) que se dio cuenta ¹⁷ de que la energía contenida en el átomo podría servir, si se utilizaba, para fabricar bombas lo

bastante potentes para «hacer que este viejo mundo se desvanezca en humo».

Físicamente era grande e imponente, con una voz que hacía encogerse a los tímidos. En una ocasión, un colega al que le dijeron que Rutherford estaba a punto de hacer una transmisión de radio a través del Atlántico, preguntó secamente: «¿Y por qué utiliza la radio?».¹⁸ Poseía también una cuantía inmensa de seguridad bonachona en sí mismo. Alguien comentó en una ocasión que siempre parecía estar en la cresta de la ola, y él respondió: «Bueno, después de todo, la ola la hice yo, ¿no?». C. P. Snow recordaba que le oyó comentar en una sastrería de Cambridge: «Me expando a diario en el contorno físico. Y mentalmente».⁹

Pero tanto el contorno físico expandido como la fama se hallaban aún muy lejos de él en 1895, cuando empezó a trabajar en el Laboratorio Cavendish." Fue un periodo singularmente crucial para la ciencia. En el año que Rutherford llegó a Cambridge, Wilhelm Roentgen descubrió los rayos X en la Universidad de Würzburg, en Alemania; al año siguiente, Henri Becquerel descubrió la radiactividad. Y el

propio Laboratorio Cavendish estaba a punto de iniciar un largo periodo de grandeza. Allí, en 1897, J. J. Thompson y unos colegas suyos descubrieron el electrón, en 1911 C. T. R. Wilson construyó el primer detector de partículas (como ya veremos) y, en 1932, James Chadwick descubrió el neutrón. Más adelante, en 1953, James Watson y Francis Crick descubrirían, también en el Laboratorio Cavendish, la estructura del ADN.

Rutherford trabajó al principio en ondas de radio con cierta distinción (consiguió transmitir una señal nítida a más de 1.600 metros de distancia, un triunfo muy notable para la época), pero lo dejó al convencerlo un colega más veterano de que la radio tenía poco futuro." Sin embargo, no hizo demasiados progresos en el Laboratorio Cavendish y, después de pasar tres años allí, considerando que no estaba yendo a ninguna parte, aceptó un puesto en la Universidad McGill de Montreal, donde inició su larga y firme ascensión a la grandeza. En la época en que recibió su premio Nobel (por «investigaciones sobre la desintegración de los elementos y la química de las sustancias radiactivas», según la mención ofi-

cial) se había trasladado ya a la Universidad de Manchester y sería allí, en realidad, donde haría su trabajo más importante sobre la estructura y la naturaleza del átomo.

A principios del siglo xx se sabía que los átomos estaban compuestos de partes -lo había demostrado Thompson al descubrir el electrón-, pero no se sabía cuántas partes había, cómo encajaban entre sí ni qué

* El nombre procede de los mismos Cavendish que produjeron a Henry. Se trataba en este caso de William Cavendish, séptimo duque de Devonshire, que era un matemático de grandes dotes y un barón del acero *de* la Inglaterra victoriana. En 1870 donó a la universidad 6.300 libras para construir un laboratorio experimental. (*N. del A.*)

forma tenían. Si bien algunos físicos pensaban que los átomos podían ser cubiformes," por lo bien que pueden agruparse los cubos sin desperdicio alguno de espacio. La idea predominante era, sin embargo, que un átomo se parecía más a un bollito de pasas que a budín de ciruelas, es decir, era un objeto denso, sólido con una carga positiva pero tachonado de

electrones de carga negativa, como las pasas de un bollo de pasas.

En 1910, Rutherford -con la ayuda de su alumno Hans Geiger, que inventaría más tarde el detector de radiación que lleva su nombre- disparó átomos de helio ionizados, o partículas alfa, contra una lámina de oro.* Rutherford comprobó asombrado que algunas de las partículas rebotaban. Era, se dijo, como si hubiese disparado una bala de 1,5 pulgadas contra una hoja de papel y hubiese rebotado cayéndole en el regazo. No se suponía que pudiese suceder aquello. Tras una considerable reflexión comprendió que sólo había una explicación posible: las partículas que rebotaban lo hacían porque chocaban con algo pequeño y denso, situado en el corazón del átomo, mientras que las otras partículas atravesaban la lámina de oro sin impedimentos. Rutherford comprendió que un átomo era mayoritariamente espacio vacío, con un núcleo muy denso en el centro. Era un descubrimiento sumamente grato, pero planteaba un problema inmenso: de acuerdo con todas las leyes de la física convencional, los átomos no deberían existir.

Detengámonos un momento a considerar la estructura del átomo tal como la conocemos hoy. Cada átomo está compuesto por tres clases de partículas elementales: protones, que tienen una carga eléctrica positiva; electrones, que tienen una carga eléctrica negativa; y neutrones, que no tienen ninguna carga. Los protones y los neutrones están agrupados en el núcleo, mientras que los electrones giran fuera, en torno a él. El número de protones es lo que otorga a un átomo su identidad química." Un átomo con un protón es un átomo de hidrógeno, uno con dos protones es helio, con tres protones litio y así sucesivamente siguiendo la escala. Cada vez que añades un protón consigues un nuevo elemento. (Como el número de protones de un átomo está siempre equilibrado por un número igual de electrones, verás a veces escrito que es el número de electrones el que define un elemento; viene a ser la misma cosa. Lo que a mí me explicaron fue que los protones dan a un átomo su identidad, los electrones su personalidad.)

Los neutrones no influyen en la identidad del átomo, pero aumentan su masa. El número de neutro-

nes es en general el mismo que el número de protones, pero puede haber leves variaciones hacia arriba y hacia abajo.

" Geiger se convertiría también más tarde en un nazi leal, traicionando sin vacilar a colegas judíos, incluidos muchos que le habían ayudado. (*N. del A.*)

Añade o quita un neutrón o dos y tendrás un isótopo.²³ Los términos que oyes en relación con las técnicas de datación en arqueología se refieren a isótopos, el carbono $^{14}_6$ por ejemplo, que es un átomo de carbono con seis protones y ocho neutrones (el $^{14}_6$ es la suma de los dos).

Los neutrones y los protones ocupan el núcleo del átomo. El núcleo es muy pequeño (sólo una milionésima de milmillonésima de todo el volumen del átomo),²⁴ pero fantásticamente denso, porque contiene prácticamente toda su masa. Como ha dicho Cropper, si se expandiese un átomo hasta el tamaño de una catedral, el núcleo sería sólo del tamaño aproximado de una mosca (aunque una mosca muchos miles de veces más pesada que la catedral).²⁵ Fue esa espaciosidad (esa amplitud retumbante e

inesperada) lo que hizo rascarse la cabeza a Rutherford en 1910.

Sigue resultando bastante pasmoso que los átomos sean principalmente espacio vacío, y que la solidez que experimentamos a nuestro alrededor sea una ilusión. Cuando dos objetos se tocan en el mundo real (las bolas de billar son el ejemplo que se utiliza con más frecuencia) no chocan entre sí en realidad. «Lo que sucede más bien -como explica Timothy Ferris- es que los campos de las dos bolas que están cargados negativamente se repelen entre sí... Si no fuese por sus cargas eléctricas, podrían, como las galaxias, pasar una a través de la otra sin ningún daño.»²⁶ Cuando te sientas en una silla, no estás en realidad sentado allí, sino levitando por encima de ella a una altura de un angstrom (una cienmillonésima de centímetro), con tus electrones y sus electrones oponiéndose implacablemente a una mayor intimidad.

La imagen de un átomo que casi todo el mundo tiene en la cabeza es la de un electrón o dos volando alrededor de un núcleo, como planetas orbitando un sol. Esa imagen la creó en 1904, basándose en poco

más que una conjetura inteligente, un físico japonés llamado Hantaro Nagaoka. Es completamente falsa, pero ha perdurado pese a ello. Como le gustaba decir a Isaac Asimov, inspiró a generaciones de escritores de ciencia ficción a crear historias de mundos dentro de mundos, en que los átomos se convertían en diminutos sistemas solares habitados o nuestro sistema solar pasaba a ser simplemente una mota en una estructura mucho mayor. Hoy día incluso la Organización Europea para la Investigación Nuclear (cuyas siglas en inglés son CERN) utiliza la imagen de Nagaoka como logotipo en su portal de la red. De hecho, como pronto comprendieron los físicos, los electrones no se parecen en nada a planetas que orbitan, sino más bien a las aspas de un ventilador que gira, logrando llenar cada pedacito de espacio de sus órbitas simultáneamente, pero con la diferencia crucial de que las aspas de un ventilador sólo *parecen* estar en todas partes a la vez y los electrones *están*.

No hace falta decir que en 1910, y durante mucho tiempo después, se sabía muy poco de todo esto. El descubrimiento de Rutherford planteó inmediata-

mente algunos grandes problemas, siendo uno de los más graves el de que ningún electrón debería ser capaz de orbitar un núcleo sin estrellarse en él. Según la teoría electrodinámica convencional, un electrón en órbita debería quedarse sin energía muy pronto (al cabo de un instante, más o menos) y precipitarse en espiral hacia el núcleo, con consecuencias desastrosas para ambos. Se planteaba también el problema de cómo los protones, con sus cargas positivas, podían amontonarse en el núcleo sin estallar y hacer pedazos el resto del átomo. Estaba claro que, pasase lo que pasase allá abajo, el mundo de lo muy pequeño no estaba gobernado por las mismas leyes que el macromundo en el que residen nuestras expectativas.

Cuando los físicos empezaron a ahondar en este reino subatómico se dieron cuenta de que no era simplemente distinto de todo lo que conocían, sino diferente de todo lo que habían podido imaginar. «Como el comportamiento atómico es tan distinto de la experiencia ordinaria²⁷-comentó en una ocasión Richard Feynman-, resulta muy difícil acostumbrarse a él y nos parece extraño y misterioso a

todos, tanto al novicio como al físico experimentado.» Cuando Feynman hizo este comentario, los físicos habían tenido ya medio siglo para adaptarse a la rareza del comportamiento atómico. Así que piensa cómo debieron de sentirse Rutherford y sus colegas a principios de 1910, cuando era todo absolutamente nuevo.

Una de las personas que trabajaban con Rutherford era un afable y joven danés, llamado Niels Bohr. En 1913, cuando cavilaba sobre la estructura del átomo, a Bohr se le ocurrió una idea tan emocionante que pospuso su luna de miel para escribir lo que se convirtió en un artículo que hizo época.

Los físicos no podían ver nada tan pequeño como un átomo, así que tenían que intentar determinar su estructura basándose en cómo se comportaba cuando se le hacían cosas, como había hecho Rutherford disparando partículas alfa contra una lámina de oro. Nada tiene de sorprendente que los resultados de esos experimentos fuesen a veces desconcertantes. Uno de estos rompecabezas que llevaba mucho tiempo sin aclararse era el relacionado con las lecturas del espectro de las longitudes de onda del hidró-

geno. Se producían pautas que indicaban que los átomos de hidrógeno emitían energía a ciertas longitudes de onda, pero no a otras. Era como si alguien sometido a vigilancia apareciese continuamente en emplazamientos determinados, pero no se le viese nunca viajando entre ellos. Nadie podía entender cómo podía pasar aquello.

Y fue cavilando sobre esto como se le ocurrió a Bohr una solución y

escribió rápidamente su famoso artículo. Se titulaba «Sobre la composición de los átomos y las moléculas» y explicaba cómo podían mantenerse en movimiento los electrones sin caer en el núcleo, postulando que sólo podían ocupar ciertas órbitas bien definidas. De acuerdo con la nueva teoría, un electrón que se desplazase entre órbitas desaparecería de una y reaparecería instantáneamente en otra *sin visitar el espacio intermedio*. Esta teoría (el famoso «salto cuántico») es, por supuesto, absolutamente desconcertante, pero era también demasiado buena para no ser cierta. No sólo impedía a los electrones precipitarse en espiral catastróficamente en el núcleo sino que explicaba también las longitudes de

onda inexplicables del hidrógeno. Los electrones sólo aparecían en ciertas órbitas porque sólo existían en ciertas órbitas. Fue una intuición deslumbradora y proporcionó a Bohr el premio Nobel de Física en 1922, el mismo año que recibió Einstein el suyo.

Entre tanto, el incansable Rutherford, ya de nuevo en Cambridge tras suceder a J. J. Thomson como director del Laboratorio Cavendish, dio con un modelo que explicaba por qué no estallaba el núcleo. Pensó que la carga positiva de los protones tenía que estar compensada por algún tipo de partículas neutralizadoras, que denominó neutrones. La idea era sencilla y atractiva, pero nada fácil de demostrar. Un colaborador suyo, James Chadwick, dedicó once intensos años a cazar neutrones, hasta que lo consiguió por fin en 1932. También a él le otorgaron un premio Nobel de Física en 1935. Como indican Boorse y sus colegas en su crónica de todo esto, la demora en el descubrimiento fue probablemente un hecho positivo,²⁸ ya que el control del neutrón era esencial para la fabricación de la bomba atómica. (Como los neutrones no tienen carga, no los repelen los campos eléctricos en el corazón del átomo y

podían, por ello, dispararse como diminutos torpedos en el interior de un núcleo atómico, desencadenándose así el proceso destructivo conocido como fisión.) Si se hubiese aislado el neutrón en la década de los veinte, indican, es «muy probable que la bomba atómica se hubiese fabricado primero en Europa, indudablemente por los alemanes».

Pero no fue así la cosa, los europeos se hallaban muy ocupados intentado entender la extraña conducta del electrón. El principal problema con el que se enfrentaban era que el electrón se comportaba a veces como una partícula y otras como una onda. Esta dualidad inverosímil estuvo a punto de volver locos a los especialistas. Durante la década siguiente se pensó y escribió afanosamente por toda Europa proponiendo hipótesis rivales. En Francia, el príncipe Louis-Victor de Broglie, vástago de una familia ducal, descubrió que ciertas anomalías en la conducta de los electrones desaparecían cuando se los consideraba ondas. Este comentario

llamó la atención del austriaco Erwin Schrödinger, que introdujo algunas mejoras e ideó un sistema práctico denominado mecánica ondular. Casi al

mismo tiempo, el físico alemán Werner Heisenberg expuso una teoría rival llamada mecánica matricial. Era tan compleja matemáticamente que casi nadie la entendía en realidad, ni siquiera el propio Heisenberg («Yo no sé en realidad lo que *es* una matriz» le explicó desesperado en determinado momento a un amigo), pero parecía aclarar ciertas incógnitas que las ondas de Schrödinger no conseguían desvelar.

El problema era que la física tenía dos teorías, basadas en premisas contrapuestas, que producían los mismos resultados. Era una situación imposible.

Finalmente, en 1926, Heisenberg propuso un célebre compromiso, elaborando una nueva disciplina que se llamaría mecánica cuántica. En el centro de la misma figuraba el principio de incertidumbre de Heisenberg, según el cual el electrón es una partícula pero una partícula que puede describirse en los mismos términos que las ondas. La incertidumbre en torno a la cual se construye la teoría es que podemos saber qué camino sigue un electrón cuando se desplaza por un espacio, podemos saber dónde está en un instante determinado, pero no podemos saber ambas cosas." Cualquier intento de medir una

de las dos cosas perturbará inevitablemente la otra. No se trata de que se necesiten simplemente más instrumentos precisos,³⁰ es una propiedad inmutable del universo.

Lo que esto significa en la práctica es que nunca puedes predecir dónde estará un electrón en un momento dado. Sólo puedes indicar la probabilidad de que esté allí. En cierto modo, como ha dicho Dennis Overbye, un electrón no existe hasta que se le observa. O, dicho de forma un poco distinta, un electrón debe considerarse, hasta que se le observa, que está «al mismo tiempo en todas partes y en ninguna».³¹

Si esto os parece desconcertante, tal vez os tranquilice un poco saber que también se lo pareció a los físicos. Overbye comenta: «Bohr dijo una vez que una persona que no se escandalizase al oír explicar por primera vez la teoría cuántica era que no entendía lo que le habían dicho».³² Heisenberg, cuando le preguntaron cómo se podía imaginar un átomo, contestó: «No lo intentes».³³

Hay cierta incertidumbre respecto al uso del término incertidumbre en relación con el principio de

Heisenberg. Michael Frayn, en un epílogo a su obra *Copenhage*, comenta que los traductores han empleado varias palabras en alemán (*Unsicherheit*, *Unschärfe*, *Ungenauigkeit* y *Unbestimmtheit*), pero que ninguna equivale del todo al inglés *uncertainty* (incertidumbre). Frayn dice que *indeterminacy* (indeterminación) sería una palabra mejor para definir el principio y que *indeterminability* (indeterminabilidad) sería aun mejor. En cuanto al propio Heisenberg, utilizó en general *Unbestimmtheit*. (N. del A.)

Así que el átomo resultó ser completamente distinto de la imagen que se había formado la mayoría de la gente. El electrón no vuela alrededor del núcleo como un planeta alrededor de su sol, sino que adopta el aspecto más amorfo de una nube. La «cáscara» de un átomo no es una cubierta dura y brillante como nos inducen a veces a suponer las ilustraciones, sino sólo la más externa de esas velludas nubes electrónicas. La nube propiamente dicha no es más que una zona de probabilidad estadística³⁴ que señala el área más allá de la cual el electrón sólo se aventura muy raras veces. Así, un átomo, si pudiésemos verlo, se parecería más a una pelota de tenis muy vellu-

da que a una nítida esfera metálica (pero tampoco es que se parezca mucho a ninguna de las dos cosas y, en realidad, a nada que hayas podido ver jamás; estamos hablando de un mundo muy diferente al que vemos a nuestro alrededor).

Daba la impresión de que las rarezas no tenían fin. Como ha dicho James Trefil, los científicos se enfrentaban por primera vez a «un sector del universo que nuestros cerebros simplemente no están preparados para poder entender».³⁵ O, tal como lo expresó Feynman, «las cosas no se comportan en absoluto a una escala pequeña como a una escala grande».³⁶ Cuando los físicos profundizaron más, se dieron cuenta de que habían encontrado un mundo en el que no sólo los electrones podían saltar de una órbita a otra sin recorrer ningún espacio intermedio, sino en el que la materia podía brotar a la existencia de la nada absoluta...³⁷ «siempre que -como dice Alan Lightman del MIT- desaparezca de nuevo con suficiente rapidez».

Es posible que la más fascinante de las inverosimilitudes cuánticas sea la idea, derivada del Principio de Exclusión enunciado por Wolfgang Pauli en 1925,

de que ciertos pares de partículas subatómicas pueden «saber» instantáneamente cada una de ellas lo que está haciendo la otra, incluso en el caso de que estén separadas por distancias muy considerables. Las partículas tienen una propiedad llamada giro o espín y, de acuerdo con la teoría cuántica, desde el momento en que determinas el espín de una partícula, su partícula hermana, por muy alejada que esté, empezará a girar inmediatamente en la dirección opuesta y a la misma velocidad.

En palabras de un escritor de temas científicos, Lawrence Joseph, es como si tuvieses dos bolas de billar idénticas,^{3 8} una en Ohio y otra en las islas Fiji, y que en el instante en que hicieses girar una la otra empezase a girar en dirección contraria a la misma velocidad exacta. Sorprendentemente, el fenómeno se demostró en 1997,³⁹ cuando físicos de la Universidad de Ginebra lanzaron fotones en direcciones opuestas a lo largo de

kilómetros y comprobaron que, si se interceptaba uno, se producía una reacción instantánea en el otro.

Las cosas alcanzaron un tono tal que Bohr comentó en una conferencia, hablando de una teoría nueva,

que la cuestión no era si se trataba de una locura sino de si era lo bastante loca. Schrödinger, para ejemplificar el carácter no intuitivo del mundo cuántico, expuso un experimento teórico famoso en el que se colocaba en el interior de una caja un gato hipotético con un átomo de una sustancia radiactiva unido a una ampolla de ácido cianhídrico. Si la partícula se desintegraba en el plazo de una hora, pondría en marcha un mecanismo que rompería la ampolla y envenenaría al gato. Si no era así, el gato viviría. Pero no podíamos saber lo que sucedería, así que no había más elección desde el punto de vista científico que considerar al gato un 100 % vivo y un 100 % muerto al mismo tiempo. Esto significa, como ha dicho Stephen Hawking con cierto desasosiego comprensible, que no se pueden «predecir los acontecimientos futuros con exactitud⁴⁰ si uno no puede medir siquiera el estado actual del universo con precisión».

Debido a todas estas extravagancias, muchos físicos aborrecieron la teoría cuántica, o al menos ciertos aspectos de ella, y ninguno en mayor grado que Einstein. Lo que resultaba bastante irónico, porque

había sido él, en su *annus mirabilis* de 1905, quien tan persuasivamente había explicado que los fotones de luz podían comportarse unas veces como partículas y otras como ondas, que era el concepto que ocupaba el centro mismo de la nueva física. «La teoría cuántica es algo muy digno de consideración -comentó educadamente, pero en realidad no le gustaba-, Dios no juega a los dados.»" Einstein no podía soportar la idea de que Dios hubiese creado un universo en el que algunas cosas fuesen incognoscibles para siempre. Además, la idea de la acción a distancia (que una partícula pudiese influir instantáneamente en otra situada a billones de kilómetros) era una violación patente de la Teoría Especial de la Relatividad. Nada podía superar la velocidad de la luz y, sin embargo, allí había físicos que insistían en que, de algún modo, a nivel subatómico, la información podía. (Nadie ha explicado nunca, dicho sea de pasada, cómo logran las partículas realizar esta hazaña. Los científicos han afrontado este problema, según el físico Yakir Aharonov, «no pensando en él».)⁴¹

Se planteaba sobre todo el problema de que la física cuántica introducía un grado de desorden que no había existido anteriormente. De pronto, necesitabas dos series de leyes para explicar la conducta del universo: la teoría cuántica para el mundo muy pequeño y la relatividad para el

O así es al menos como casi siempre se cita. Sus palabras auténticas fueron: «Parece difícil echarle un vistazo furtivo a las cartas de Dios. Pero que juegue a los dados y utilice métodos "telepáticos"...», es algo que yo no puedo creer ni por un momento». *(N. del A.)*

universo mayor, situado más allá. La gravedad de la teoría de la relatividad explicaba brillantemente por qué los planetas orbitaban soles o por qué tendían a agruparse las galaxias, pero parecía no tener absolutamente ninguna influencia al nivel de las partículas. Hacían falta otras fuerzas para explicar lo que mantenía unidos a los átomos y en la década de los treinta se descubrieron dos: la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. La fuerza fuerte mantiene unidos a los átomos; es lo que permite a los protones acostarse juntos en el núcleo. La fuerza

débil se encarga de tareas más diversas, relacionadas principalmente con el control de los índices de ciertos tipos de desintegración radiactiva.

La fuerza nuclear débil es, a pesar de su nombre, miles de miles de millones de veces más fuerte que la gravedad,⁴² y la fuerza nuclear fuerte es más potente aún (muchísimo más, en realidad), pero su influjo sólo se extiende a distancias minúsculas. El alcance de la fuerza fuerte sólo llega hasta aproximadamente una cienmilésima del diámetro de un átomo. Es la razón de que el núcleo de los átomos sea tan denso y compacto, así como de que los elementos con núcleos grandes y atestados tiendan a ser tan inestables: la fuerza fuerte no es sencillamente capaz de contener a todos los protones.

El problema de todo esto es que la física acabó con dos cuerpos de leyes (uno para el mundo de lo muy pequeño y otro para el universo en su conjunto) que llevan vidas completamente separadas. A Einstein tampoco le gustó esto. Dedicó el resto de su vida⁴³ a buscar un medio de unir los cabos sueltos mediante una «gran teoría unificada». No lo consiguió. De vez en cuando, creía que lo había logrado. Pero al

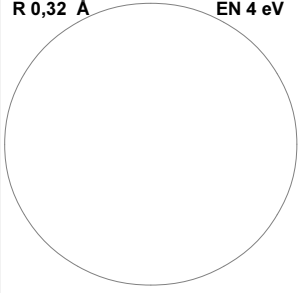
final siempre se le desmoronaba todo. Con el paso del tiempo, fue quedándose cada vez más al margen y hasta se le llegó a tener un poco de lástima. Casi sin excepción, escribió Snow, «sus colegas pensaban, y aún piensan, que desperdició la segunda mitad de su vida».44

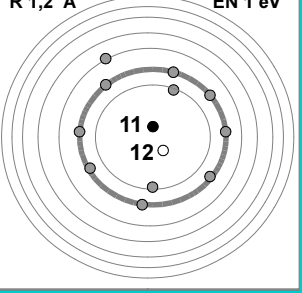
Pero se estaban haciendo progresos reales en otras partes. A mediados de la década de los cuarenta, los científicos habían llegado a un punto en que entendían el átomo a un nivel muy profundo... como demostraron con excesiva eficacia en agosto de 1945 al hacer estallar un par de bombas atómicas en Japón.

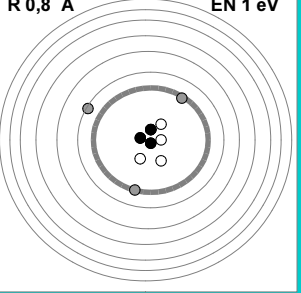
Por entonces, se podía excusar a los físicos por creer que habían conquistado prácticamente el átomo. En realidad, en la física de partículas todo estaba a punto de hacerse mucho más complejo. Pero antes de que abordemos esa historia un tanto agotadora, debemos poner al día otro sector de nuestra historia considerando una importante y saludable narración de avaricia, engaño, mala ciencia, varias muertes innecesarias y la determinación final de la edad de la Tierra.

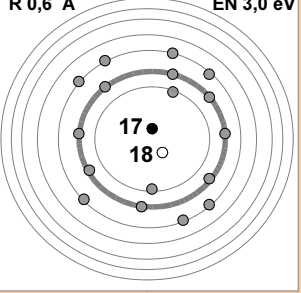
Etapa 1

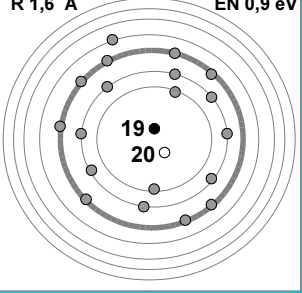
Equip 1

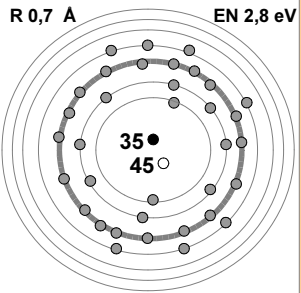
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

7

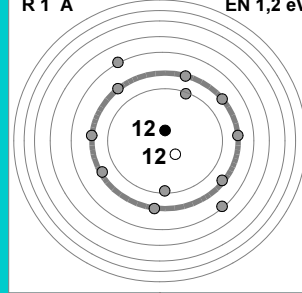
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
39

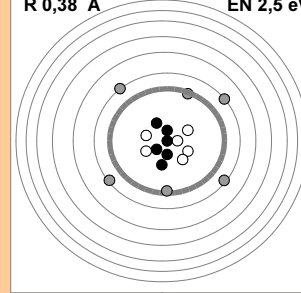
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

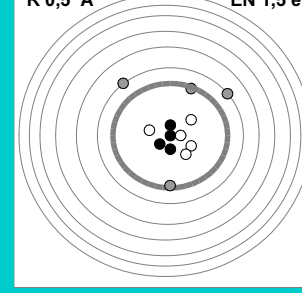
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

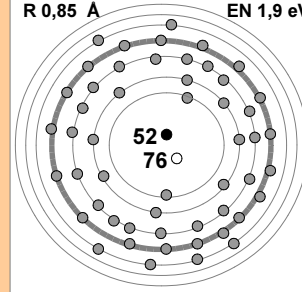
Etapa 2

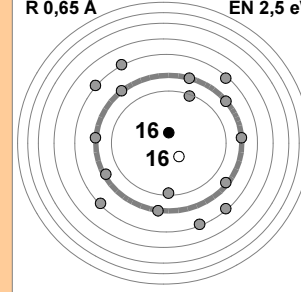
Equip 1

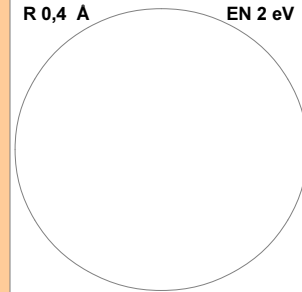
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

9

De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
128

16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
11

Etapa 3

Equip 1

<p>34 S Socrat</p> <p>No Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,76 Å EN 2,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4</p> <p>79</p>	<p>8 Ar Aristot</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,34 Å EN 3,5 eV</p> <p>1s2 2s2 2p4</p> <p>16</p>	<p>10 En Einstein</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,3 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6</p> <p>20</p>
---	--	---

<p>7 S Stalin</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,36 Å EN 3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>14</p>	<p>20 B Betobén</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1,3 Å EN 1 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>40</p>	<p>2 N Niuton</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,4 Å EN -- eV</p> <p>1s2</p> <p>4</p>
--	---	--

Etapa 4

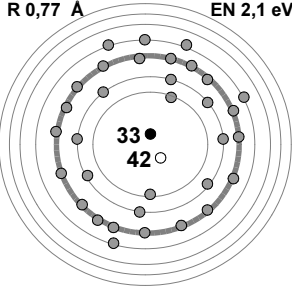
Equip 1

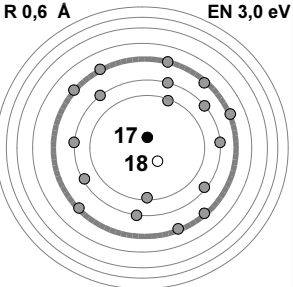
<p>22 Ma Maiqueliasen</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,9 Å EN 1,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2</p> <p>48</p>	<p>1 K Kandinsk</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>3</p>
---	--

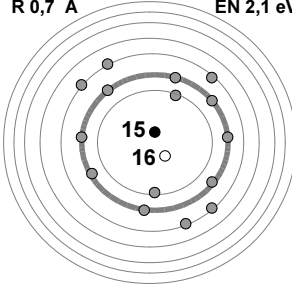
<p>V Vanmorris</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1 Å EN 1,3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1</p> <p>45</p>	<p>18 GI Galileu</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8</p> <p>40</p>	<p>L Lurid</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,9 Å EN 1,8 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8</p> <p>106</p>
--	---	--

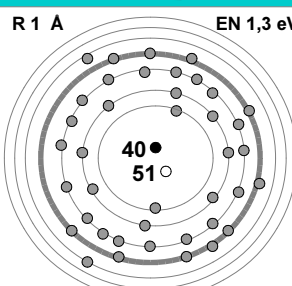
Etapa 5

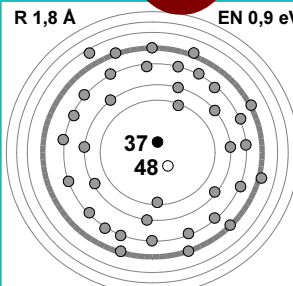
Equip 1

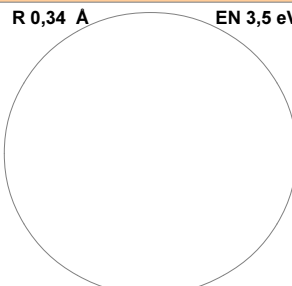
33 Ca
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$
75

17 L¹⁻
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
35

15 J
Julicesa
 No Metall. Sòlid.
 R 0,7 Å EN 2,1 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
31

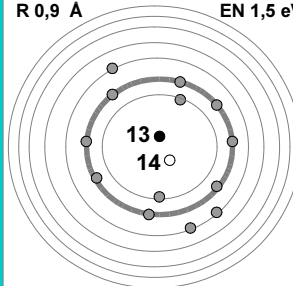
40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^2$
91

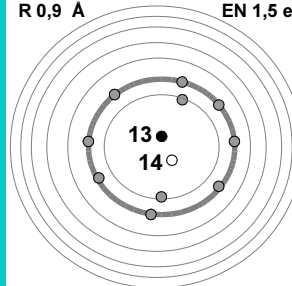
M
Monet
 Metall. Sòlid.
 R 1,8 Å EN 0,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1$
85

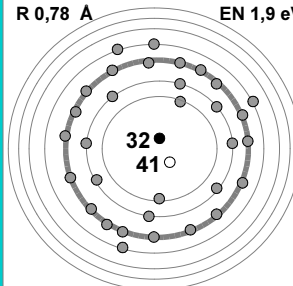
8 Ar²⁻
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6$
16

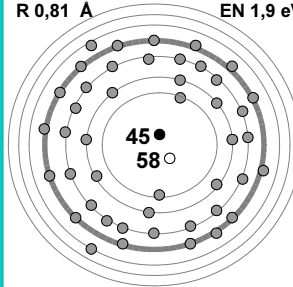
Etapa 6

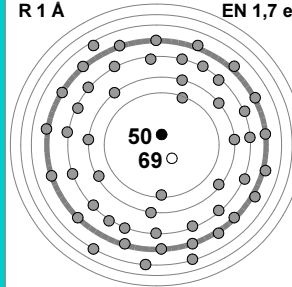
Equip 1

13 Lo
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6$
27

13 Lo³⁺
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6$
27

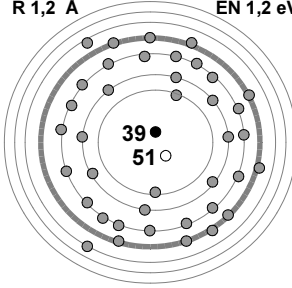
32 Ve
Verdaguel
 Metall. Sòlid.
 R 0,78 Å EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^2$
73

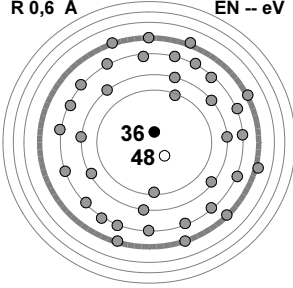
45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 Å EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^7$
103

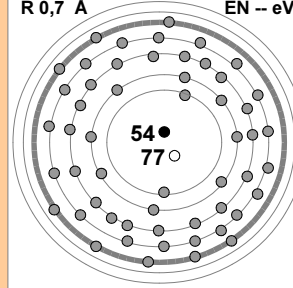
50 Cr
Carner
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^2$
119

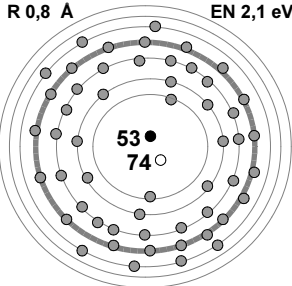
Etapa 7

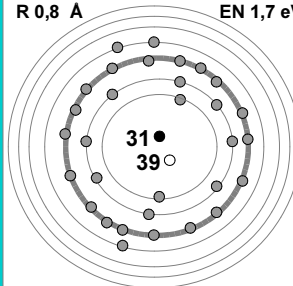
Equip 1

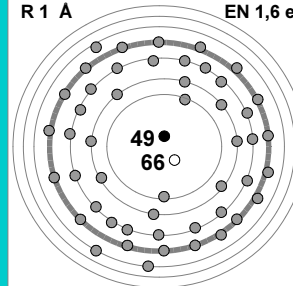
39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **84**

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

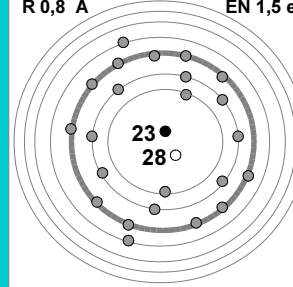
53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

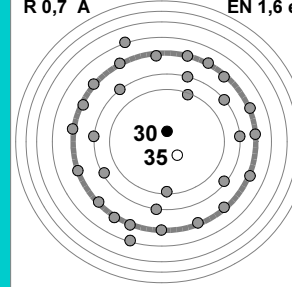
31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1 **70**

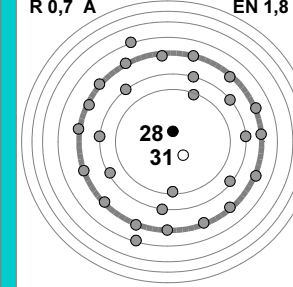
49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1 **132**

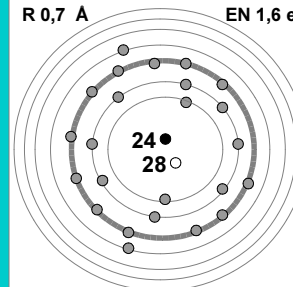
Etapa 8

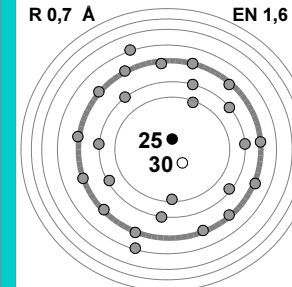
Equip 1

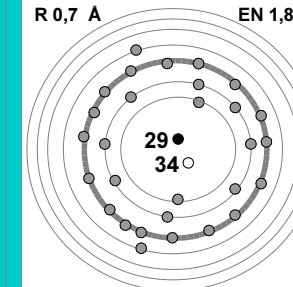
23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d3
 4p6 **51**

30 Sv
Stiviinvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 **65**

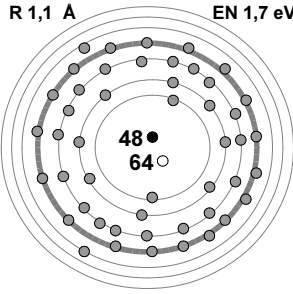
28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8
 4p6 **59**

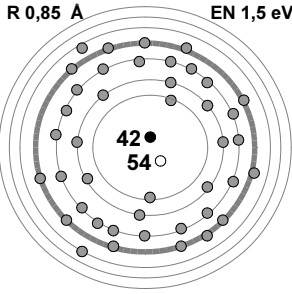
24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4
 4p6 **52**

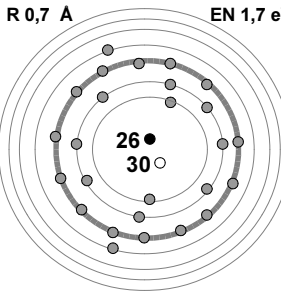
25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
 4p6 **55**

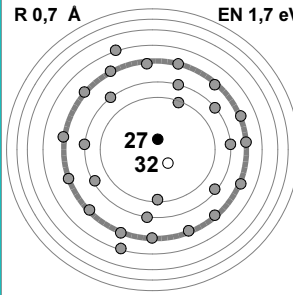
Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
 4p6 **63**

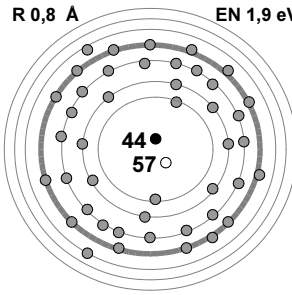
Etapa 9

48 T
Tinatarna
 Metall. Sòlid.
 R 1,1 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10}$
112

Ku
Kurtcoben
 Metall. Sòlid.
 R 0,85 A EN 1,5 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^7$
93

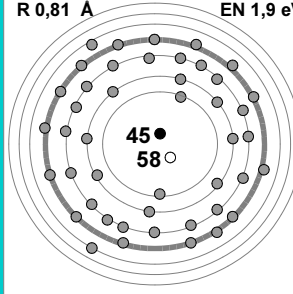
26 N
Ninasimoni
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$
56

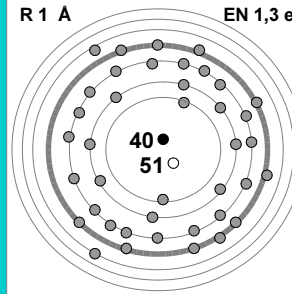
27 Pr
Princi
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^6$
101

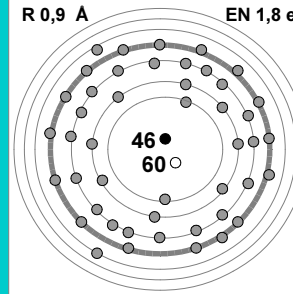
44 Ji
Jimorisen
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^6$
101

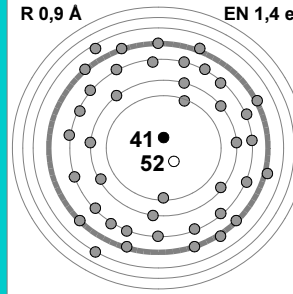
Etapa 10

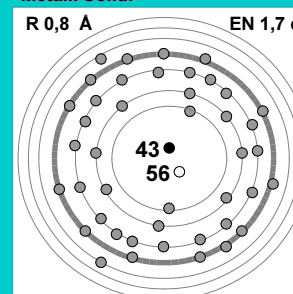
Equip 1

45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 A EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^7$
103

40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,3 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^2$
91

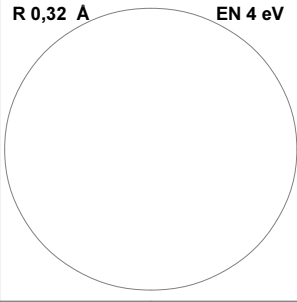
46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,8 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^8$
106

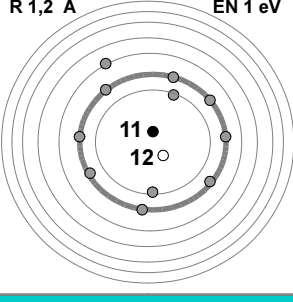
41 Jc
Joucuca
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,4 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^3$
93

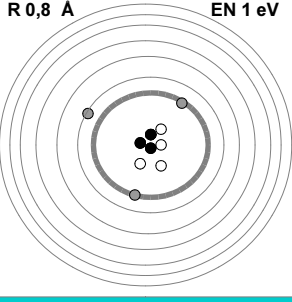
43 Pt
Patsiclain
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^5$
99

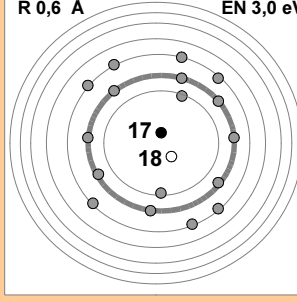
Etapa 1

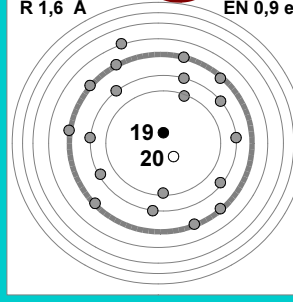
Equip 2

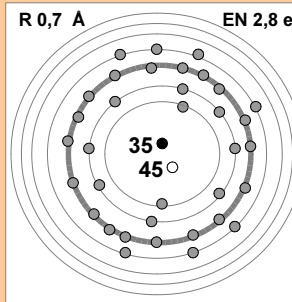
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
 19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
 23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
 7

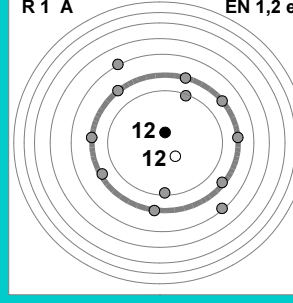
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
 19

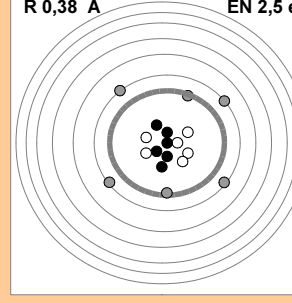
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
 39

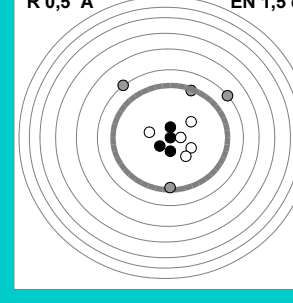
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
 80

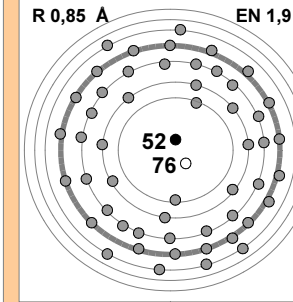
Etapa 2

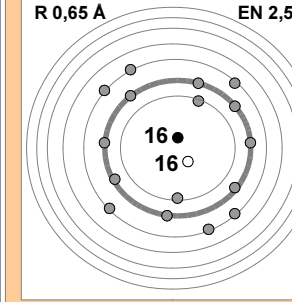
Equip 2

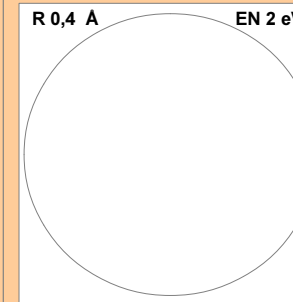
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
 12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
 12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p1
 9

De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
 128

16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
 32

5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
 11

Etapa 3

Equip 2

<p>34 S</p> <p>Socrat</p> <p>No Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,76 Å EN 2,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4</p> <p>79</p>	<p>8 Ar</p> <p>Aristot</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,34 Å EN 3,5 eV</p> <p>1s2 2s2 2p4</p> <p>16</p>	<p>10 En</p> <p>Einstain</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,3 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6</p> <p>20</p>
---	--	---

<p>7 S</p> <p>Stalin</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,36 Å EN 3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>14</p>	<p>20 B</p> <p>Betobén</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1,3 Å EN 1 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>14</p>
--	---

Etapa 4

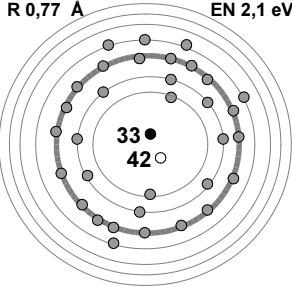
Equip 2

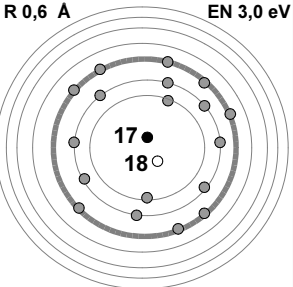
<p>1 V</p> <p>Vangog</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>1</p>	<p>22 Ma</p> <p>Maiqueliasen</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,9 Å EN 1,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2</p> <p>48</p>	<p>1 K</p> <p>Kandinsk</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>3</p>
--	---	--

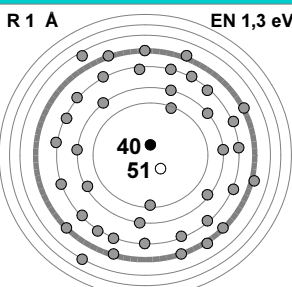
<p>V</p> <p>Vanmorris</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1 Å EN 1,3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1</p> <p>45</p>	<p>45 Pa</p> <p>Pattismit</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,81 Å EN 1,9 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7</p> <p>103</p>	<p>6 Ps</p> <p>Papasseit</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,38 Å EN 2,5 eV</p> <p>1s2 2s2 2p2</p> <p>14</p>
--	---	--

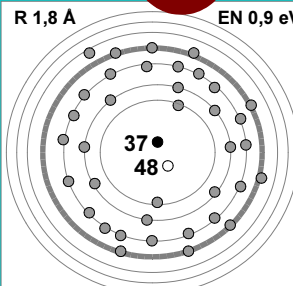
Etapa 5

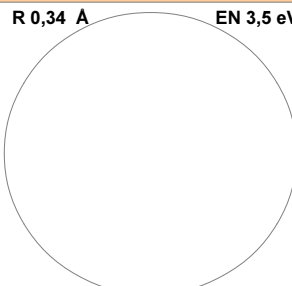
Equip 2

33 **Ca**
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p3 **75**

17 **L¹⁻**
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 **35**

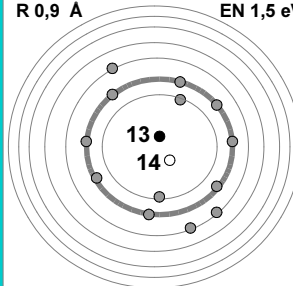
40 **Bi**
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2 **91**

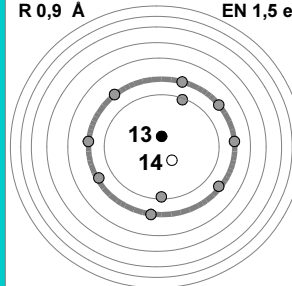
M
Monet
 Metall. Sòlid.
 R 1,8 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s1 **85**

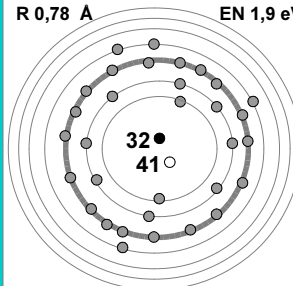
8 **Ar²⁻**
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p6 **16**

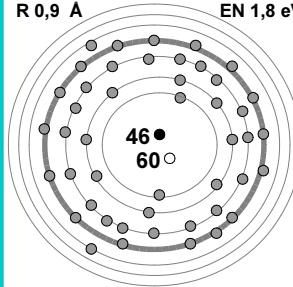
Etapa 6

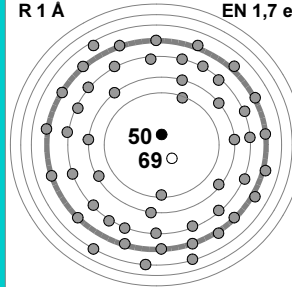
Equip 2

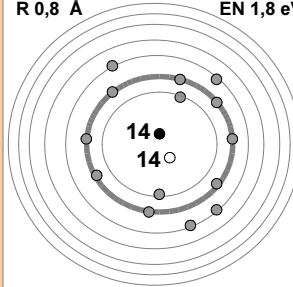
13 **Lo**
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

27

13 **Lo³⁺**
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 **27**

32 **Ve**
Verdaguel
 Metall. Sòlid.
 R 0,78 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p2 **73**

46 **L**
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8 **106**

50 **Cr**
Carner
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p2 **119**

14 **L**
Llull
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p2 **28**

Etapa 7

<p>39 De</p> <p>Deiviboui</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1,2 A EN 1,2 eV</p> <p>39 ● 51 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d1</p> <p>90</p>	<p>36 Me</p> <p>Mendel</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,6 A EN -- eV</p> <p>36 ● 48 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>84</p>	<p>Pt</p> <p>Pasteur</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,7 A EN -- eV</p> <p>54 ● 77 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>131</p>
---	---	--

<p>31 B</p> <p>Beker</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,8 A EN 1,7 eV</p> <p>31 ● 39 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p1</p> <p>70</p>	<p>49 Cs</p> <p>Castre</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1 A EN 1,6 eV</p> <p>49 ● 66 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p1</p>
--	--

Etapa 8

Equip 2

<p>23 Jo</p> <p>Jonlihuka</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,8 A EN 1,5 eV</p> <p>23 ● 28 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>51</p>	<p>30 Sv</p> <p>Stiviinvud</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,7 A EN 1,6 eV</p> <p>30 ● 35 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>65</p>	<p>28 E</p> <p>Elvispresli</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,7 A EN 1,8 eV</p> <p>28 ● 31 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>59</p>
--	---	--

<p>24 A</p> <p>Aretafrankli</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,7 A EN 1,6 eV</p> <p>24 ● 28 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>55</p>	<p>25 Ja</p> <p>Janisjopli</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,7 A EN 1,6 eV</p> <p>25 ● 30 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5 4p6 5s2 4d10 5p6</p> <p>63</p>	<p>Bo</p> <p>Bonó</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,7 A EN 1,8 eV</p> <p>29 ● 34 ○</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9 4p6 5s2 4d10 5p6</p>
---	--	--

Etapa 9

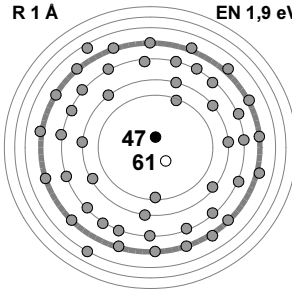
Equip 2

47 Mi

MicJagre

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,9 eV



47●
61○

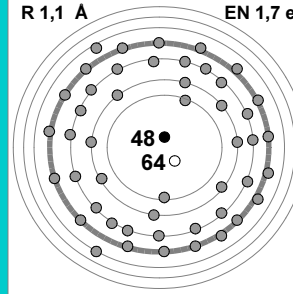
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d9 108

48 T

Tinatarna

Metall. Sòlid.

R 1,1 A EN 1,7 eV



48●
64○

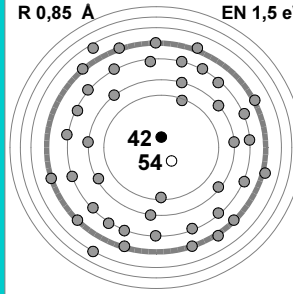
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d10 112

Ku

Kurtcoben

Metall. Sòlid.

R 0,85 A EN 1,5 eV



42●
54○

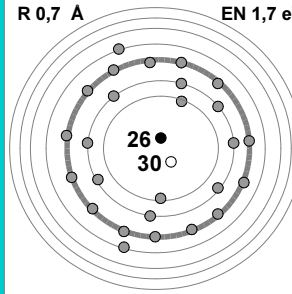
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d4 93

26 N

Ninasimoni

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV



26●
30○

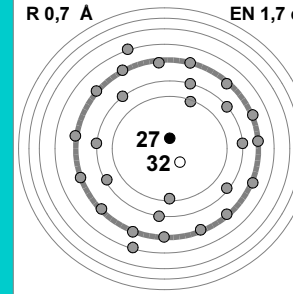
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6
56

27 Pr

Princi

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV



27●
32○

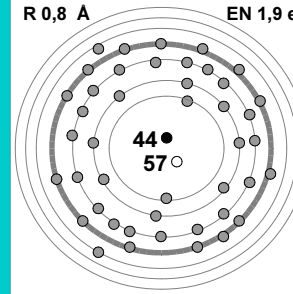
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d6 59

44 Ji

Jimorisen

Metall. Sòlid.

R 0,8 A EN 1,9 eV



44●
57○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d6 101

Etapa 10

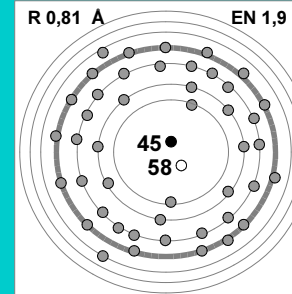
Equip 2

45 Pa

Pattismit

Metall. Sòlid.

R 0,81 A EN 1,9 eV



45●
58○

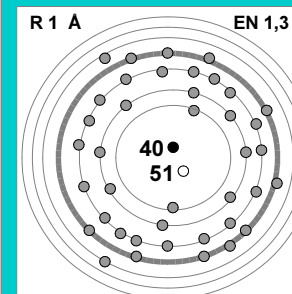
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d7 103

40 Bi

Bibiquin

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,3 eV



40●
51○

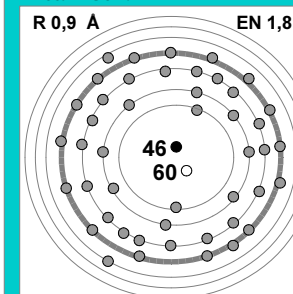
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d2 91

46 L

Lurid

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,8 eV



46●
60○

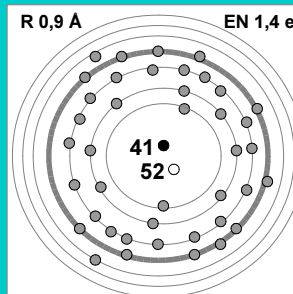
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d8 106

41 Jc

Joucuca

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,4 eV



41●
52○

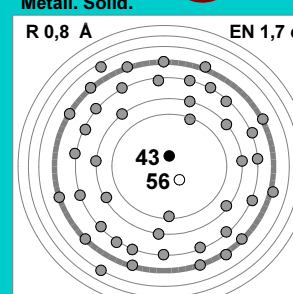
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3 93

43 Pt

Patsiclain

Metall. Sòlid.

R 0,8 A EN 1,7 eV



43●
56○

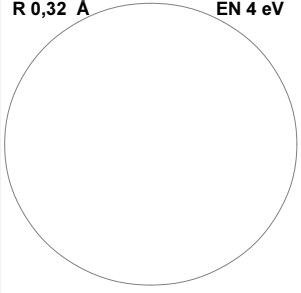
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d5 99

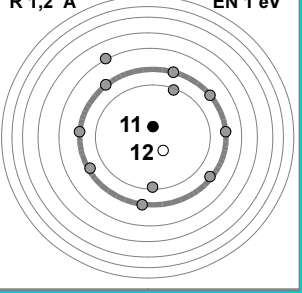
Etape 1

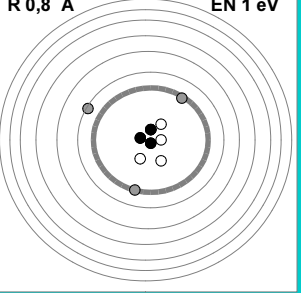
Equip 3

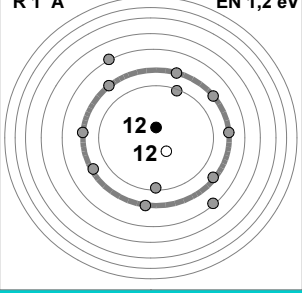
Etape 2

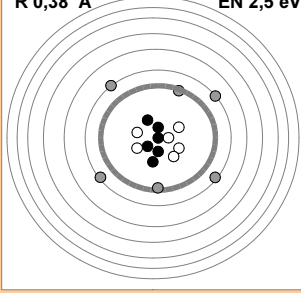
Equip 3

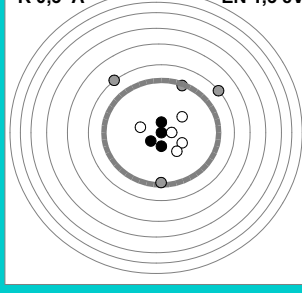
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
19

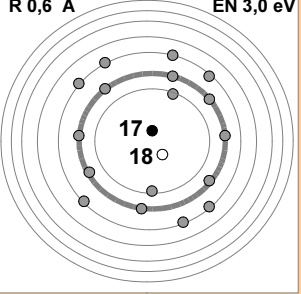
11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
23

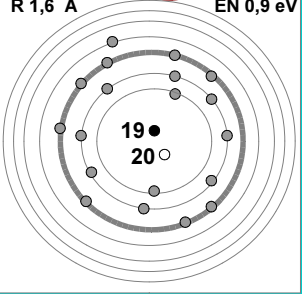
3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

7

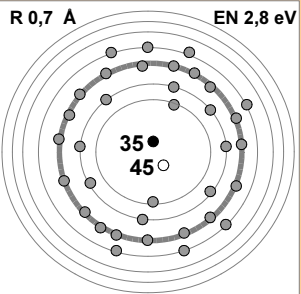
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
12

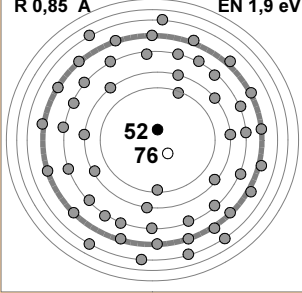
6 Es
Espriu
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
12

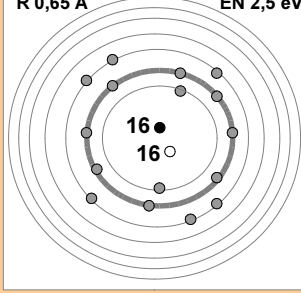
4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

9

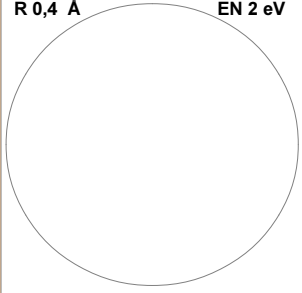
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
19

19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

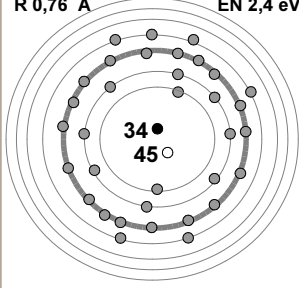
De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
128

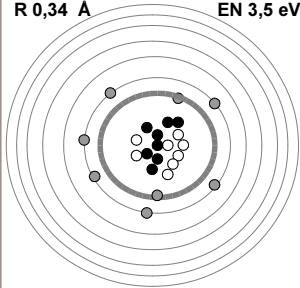
16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

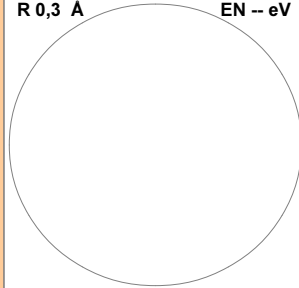
5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
11

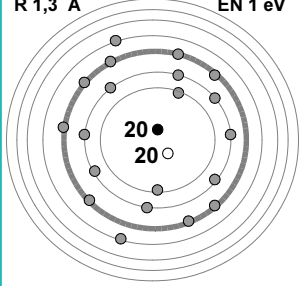
Eta 3

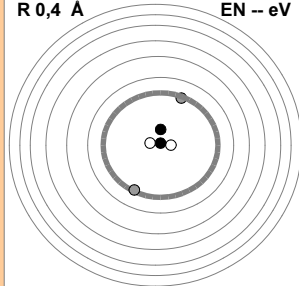
Equip 3

34 S
Socrat
 No Metall. Sòlid.
 R 0,76 Å EN 2,4 eV

 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹⁰ 4p⁴
79

8 Ar
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s² 2s² 2p⁴
16

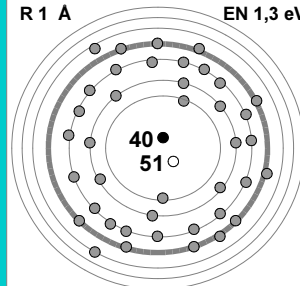
10 En
Einstein
 No Metall. Gas.
 R 0,3 Å EN -- eV

 1s² 2s² 2p⁶
20

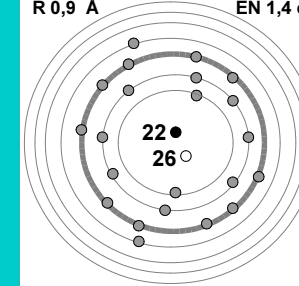
20 B
Betobén
 Metall. Sòlid.
 R 1,3 Å EN 1 eV

 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s²
45

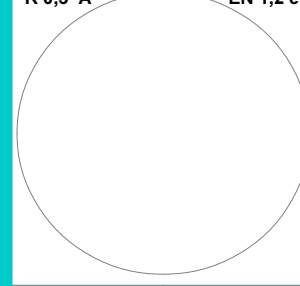
2 N
Niuton
 No Metall. Gas.
 R 0,4 Å EN -- eV

 1s²
4

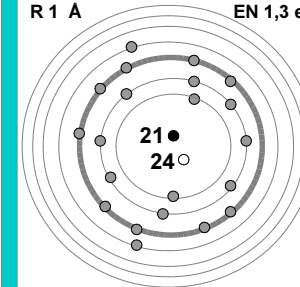
Eta 4

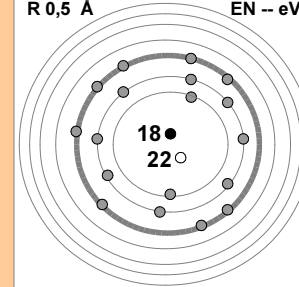
Equip 3

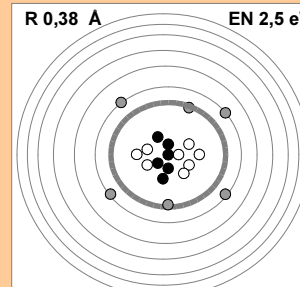
40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹⁰ 4p⁶ 5s² 4d²
91

22 Ma
Maiqueliasen
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,4 eV

 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d²
48

1 K
Kandinsk
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s¹
3

V
Vanmorris
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹
45

18 GI
Galileu
 No Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN -- eV

40

6 Ps
Papasseit
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s² 2s² 2p²
14

Etapa 5

Equip 3

46 **L**

Lurid

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,8 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d8

106

17 **L¹⁻**

LaoTse

No Metall. Gas.

R 0,6 Å EN 3,0 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6

35

15 **J**

Julicesa

No Metall. Sòlid.

R 0,7 Å EN 2,1 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6

31

51 **Ge**

Gengiskan

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,8 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d10 5p3

122

M

Monet

Metall. Sòlid.

R 1,8 Å EN 0,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s1

85

8 **Ar²⁻**

Aristot

Metall. Gas.

R 0,34 Å EN 3,5 eV

1s2 2s2 2p6

16

Etapa 6

Equip 3

13 **Lo**

Lorc

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,5 eV

1s2 2s2 2p6

27

13 **Lo³⁺**

Lorc

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,5 eV

1s2 2s2 2p6

27

32 **Ve**

Verdaguel

Metall. Sòlid.

R 0,78 Å EN 1,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p2

73

38 **Vi**

Vivaldi

Metall. Sòlid.

R 1,5 Å EN 1 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2

88

50 **Cr**

Carner

Metall. Sòlid.

R 1 Å EN 1,7 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d10 5p2

119

45 **Pa**

Pattismit

Metall. Sòlid.

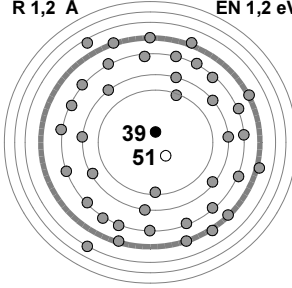
R 0,81 Å EN 1,9 eV

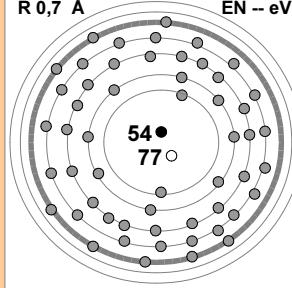
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d7

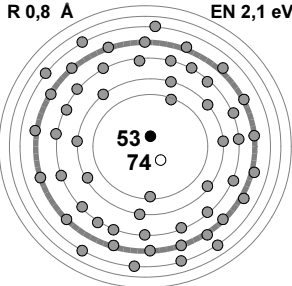
103

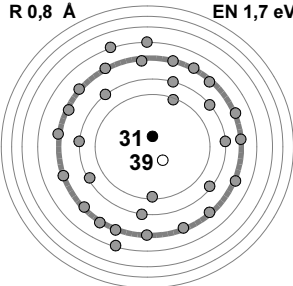
Etapa 7

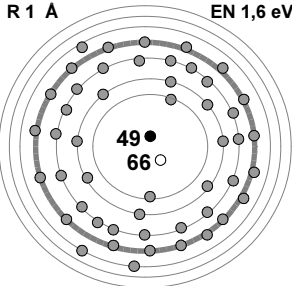
Equip 3

39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

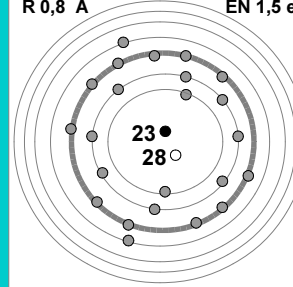
53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

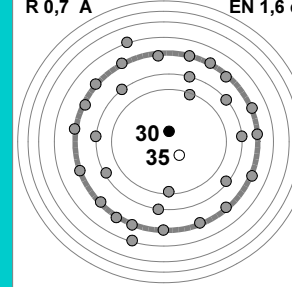
31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1 **70**

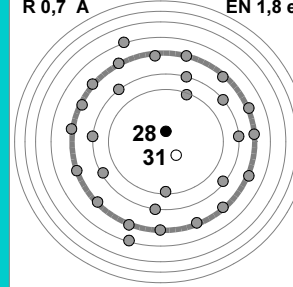
49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1

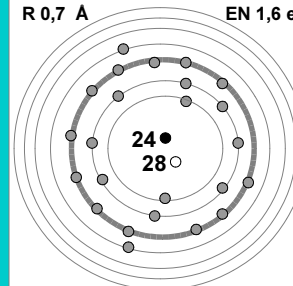
Etapa 8

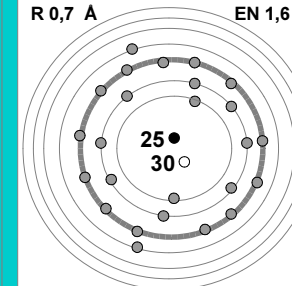
Equip 3

23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

51

30 Sv
Stiviuvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 **65**

28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8 **59**

24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4

25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5 **55**

Etapa 9

Equip 3

47 Mi
MicJagre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^9$
108

48 T
Tinatarna
 Metall. Sòlid.
 R 1,1 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d10$
112

Ku
Kurtcoben
 Metall. Sòlid.
 R 0,85 A EN 1,5 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^4$
93

26 N
Ninasimoni
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$
56

27 Pr
Princi
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,7 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$
59

44 Ji
Jimorisen
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^6$
101

Etapa 10

Equip 3

45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 A EN 1,9 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^7$
103

40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,3 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^2$
91

46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,8 eV

 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^8$
106

41 Jc
Joucuca
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,4 eV

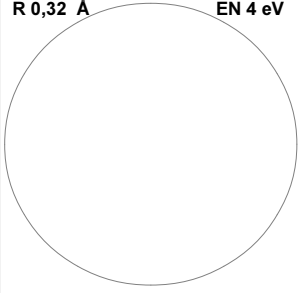
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^3$
93

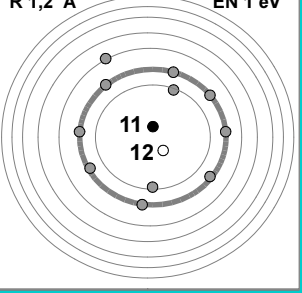
43 Pt
Patsiclain
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

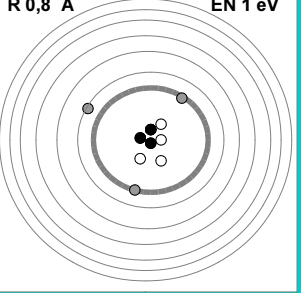
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d10$
 $4p^6 5s^2 4d^5$
99

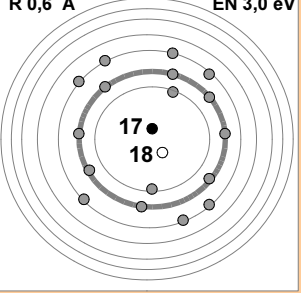
Etapa 1

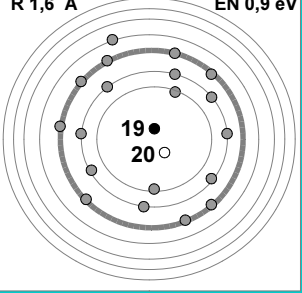
Equip 4

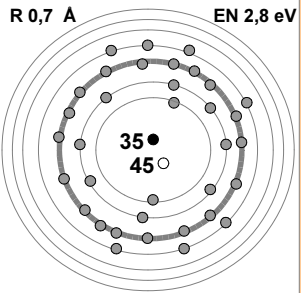
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

7

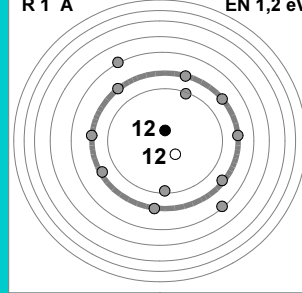
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
39

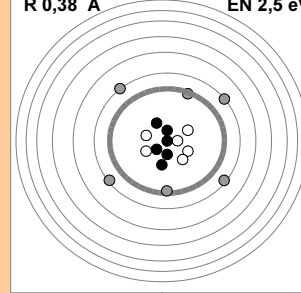
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

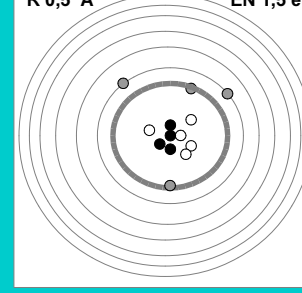
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

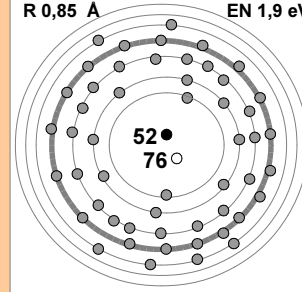
Etapa 2

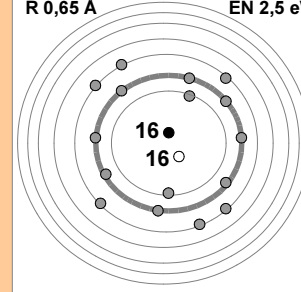
Equip 4

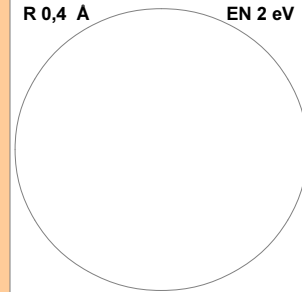
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

9

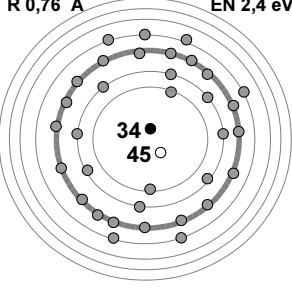
De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
128

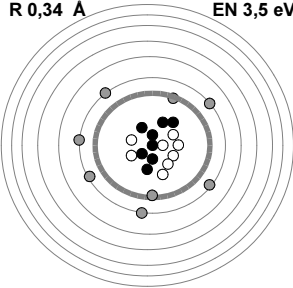
16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

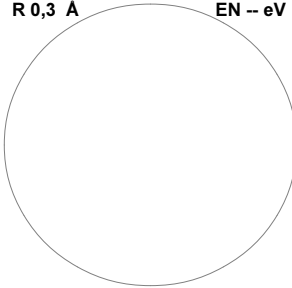
5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
11

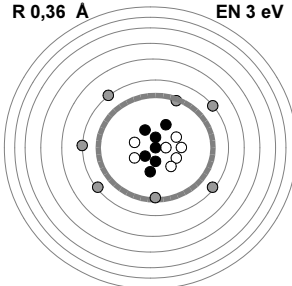
Etapa 3

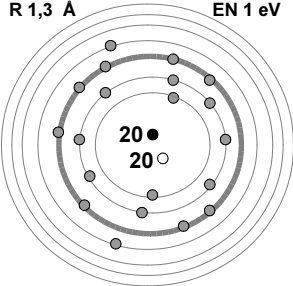
Equip 4

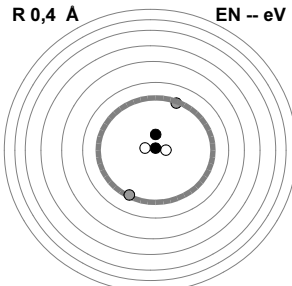
34 S
Socrat
 No Metall. Sòlid.
 R 0,76 Å EN 2,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4
79

8 Ar
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p4
16

10 En
Einstein
 No Metall. Gas.
 R 0,3 Å EN -- eV

 1s2 2s2 2p6
20

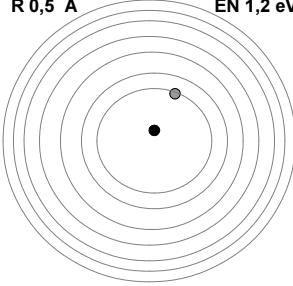
7 S
Stalin
 Metall. Gas.
 R 0,36 Å EN 3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2
14

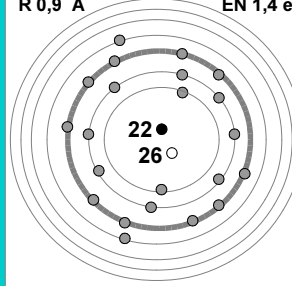
20 B
Betobén
 Metall. Sòlid.
 R 1,3 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2
14

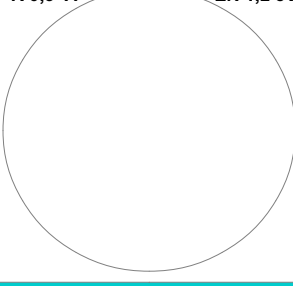
2 N
Niuton
 No Metall. Gas.
 R 0,4 Å EN -- eV

 1s2
4

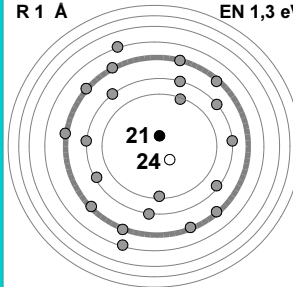
Etapa 4

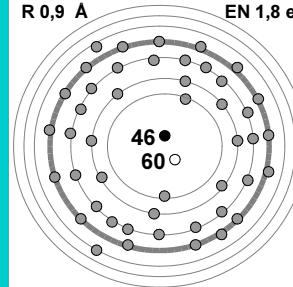
Equip 4

1 V
Vangog
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s1
1

22 Ma
Maiqueliasen
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2
48

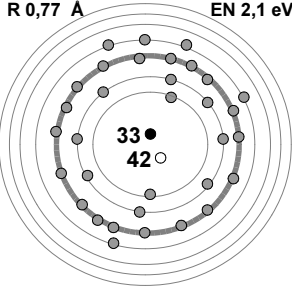
1 K
Kandinsk
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s1
3

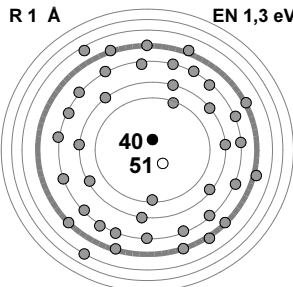
V
Vanmorris
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1
45

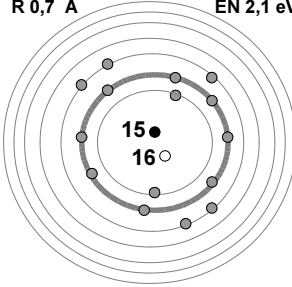
46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8
106

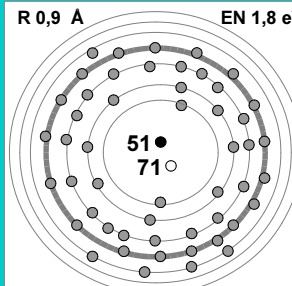
Etapa 5

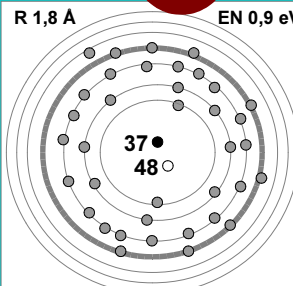
Equip 4

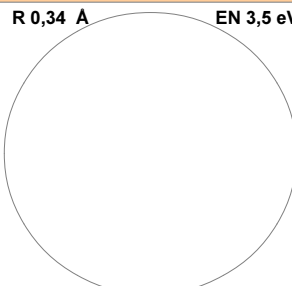
33 Ca
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p3
75

40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2
91

15 J
Julicesa
 No Metall. Sòlid.
 R 0,7 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2
31

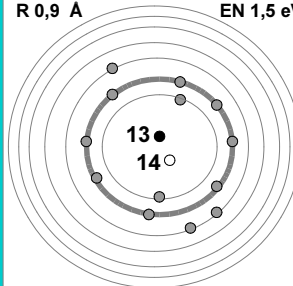
51 Ge
Gengiskan
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p3
122

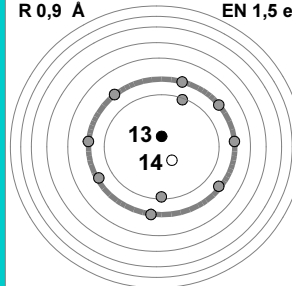
M
Monet
 Metall. Sòlid.
 R 1,8 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s1
85

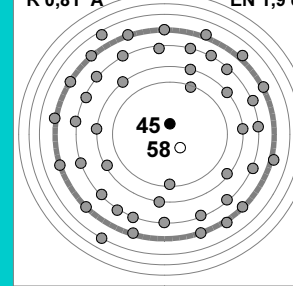
8 Ar²⁻
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p6
16

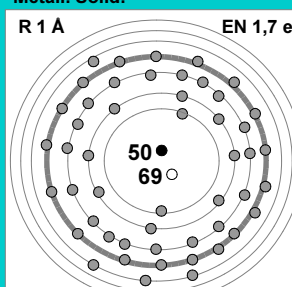
Etapa 6

Equip 4

13 Lo
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6
27

13 Lo³⁺
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6
27

45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7
103

50 Cr
Carner
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p2
119

14 L
Llull
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p2
119

Etapa 7

Equip 4

39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1
90

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6
84

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6
131

53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5
127

31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1
70

49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1
132

Etapa 8

23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6
51

30 Sv
Stiviinvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6
65

24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4
52

25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
55

Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
63

Etapa 9

Equip 4

<p>47 Mi MicJagre Metall. Sòlid. R 1 A EN 1,9 eV 47 ● 61 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d9 108</p>	<p>48 T Tinatarna Metall. Sòlid. R 1,1 A EN 1,7 eV 48 ● 64 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 112</p>	<p>42 Ku Kurtcoben Metall. Sòlid. R 0,85 A EN 1,5 eV 42 ● 54 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d4 93</p>
---	--	--

<p>26 N Ninasimoni Metall. Sòlid. R 0,7 A EN 1,7 eV 26 ● 30 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6 56</p>	<p>27 Pr Princi Metall. Sòlid. R 0,7 A EN 1,7 eV 27 ● 32 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d6 59</p>	<p>44 Ji Jimorisen Metall. Sòlid. R 0,8 A EN 1,9 eV 44 ● 57 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d6 101</p>
--	--	--

Etapa 10

Equip 4

<p>45 Pa Pattismit Metall. Sòlid. R 0,81 A EN 1,9 eV 45 ● 58 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7 103</p>	<p>40 Bi Bibiquin Metall. Sòlid. R 1 A EN 1,3 eV 40 ● 51 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2 91</p>	<p>46 L Lurid Metall. Sòlid. R 0,9 A EN 1,8 eV 46 ● 60 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8 106</p>
---	--	---

41 Jc
Joucuca
Metall. Sòlid.
R 0,9 A EN 1,4 eV

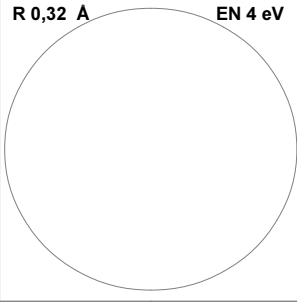
41 ●
52 ○
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3
93

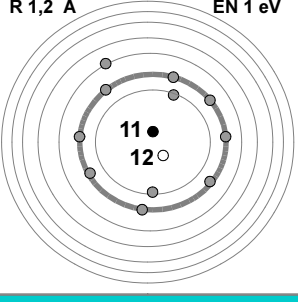
43 Pt
Patsiclain
Metall. Sòlid.
R 0,8 A EN 1,7 eV

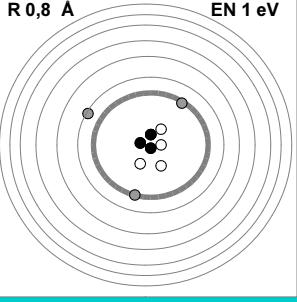
43 ●
56 ○
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d5
99

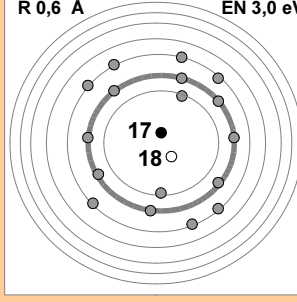
Etape 1

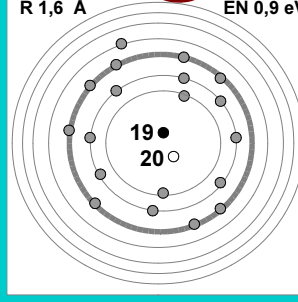
Equip 5

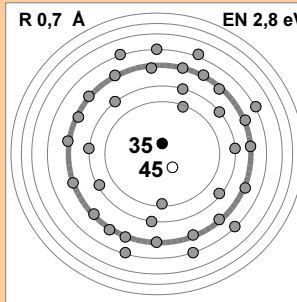
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

7

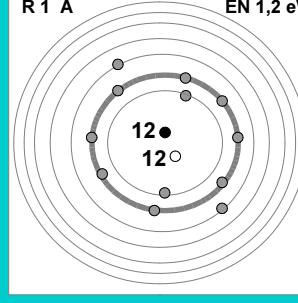
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
39

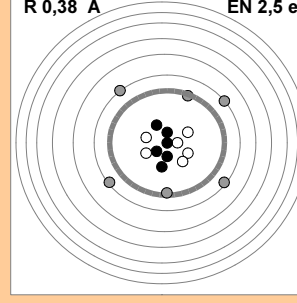
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

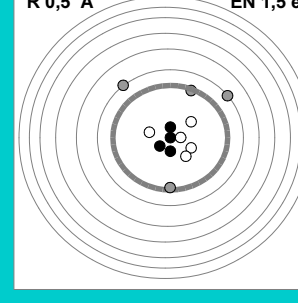
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

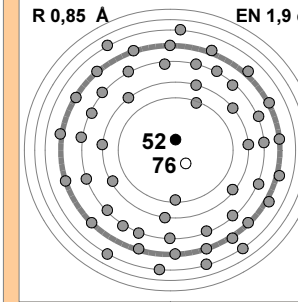
Etape 2

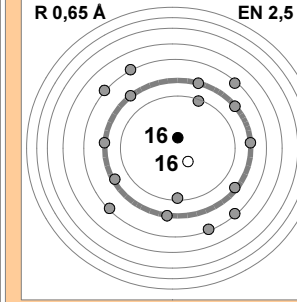
Equip 5

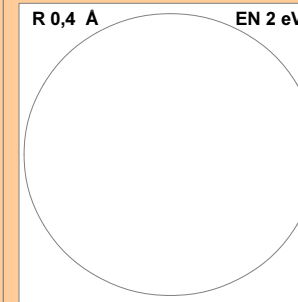
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

9

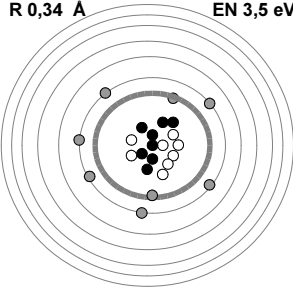
De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
128

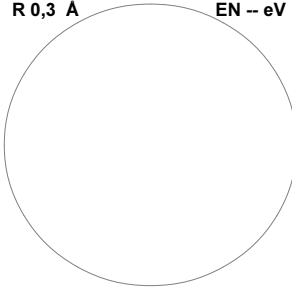
16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

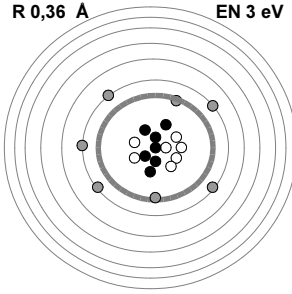
5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
11

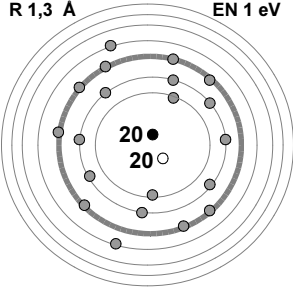
Etapa 3

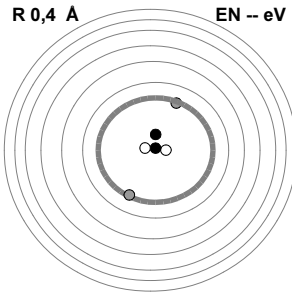
Equip 5

8 Ar
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p4
16

10 En
Einstain
 No Metall. Gas.
 R 0,3 Å EN -- eV

 1s2 2s2 2p6
20

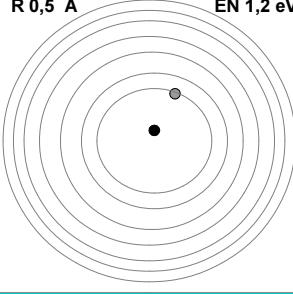
7 S
Stalin
 Metall. Gas.
 R 0,36 Å EN 3 eV

14

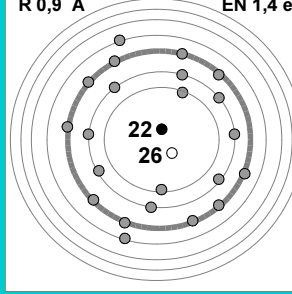
20 B
Betobén
 Metall. Sòlid.
 R 1,3 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2
48

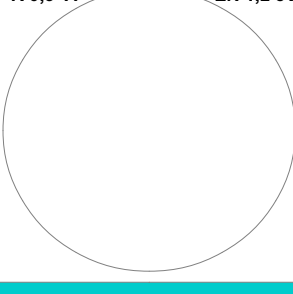
2 N
Niuton
 No Metall. Gas.
 R 0,4 Å EN -- eV

 1s2
4

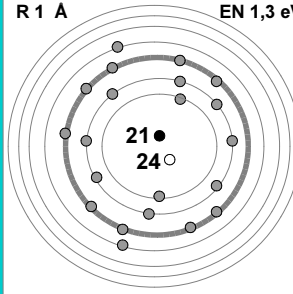
Etapa 4

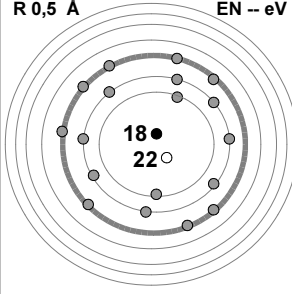
Equip 5

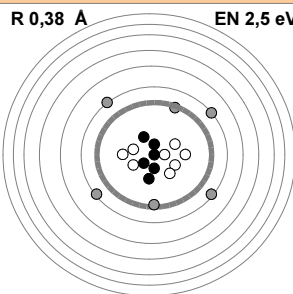
1 V
Vangog
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s1
1

22 Ma
Maiqueliasen
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2
48

1 K
Kandinsk
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s1
3

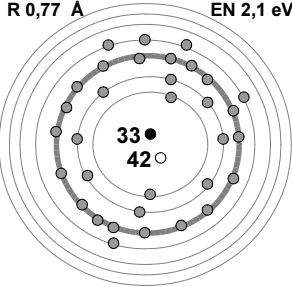
V
Vanmorris
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1
45

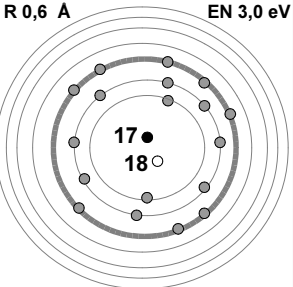
18 GI
Galileu
 No Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN -- eV

40

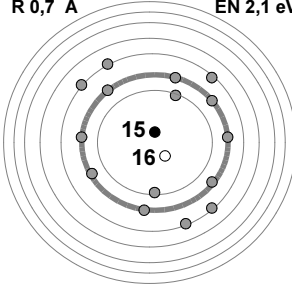
6 Ps
Papasseit
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
14

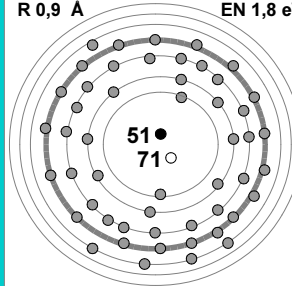
Etapa 5

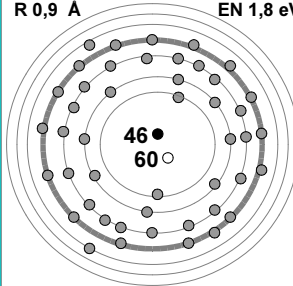
Equip 5

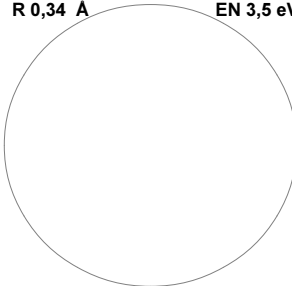
33 Ca
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p3
75

17 L¹⁻
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6
35

15 J
Julicesa
 No Metall. Sòlid.
 R 0,7 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6
31

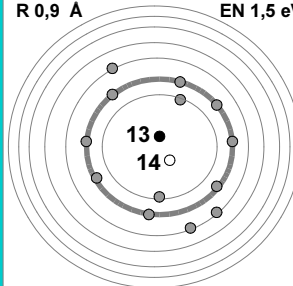
51 Ge
Gengiskan
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p3
122

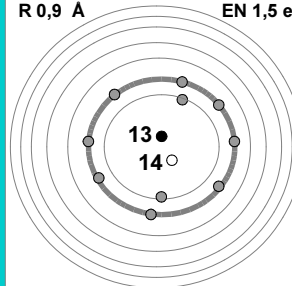
46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8
106

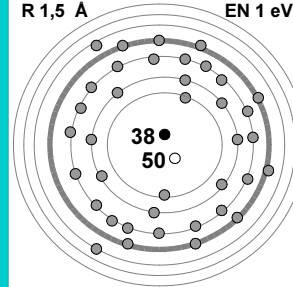
8 Ar²⁻
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p6
16

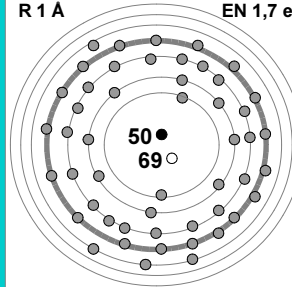
Etapa 6

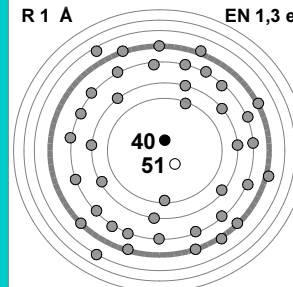
Equip 5

13 Lo
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6
27

13 Lo³⁺
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6
27

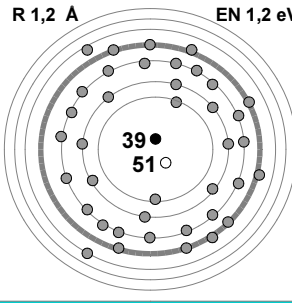
38 Vi
Vivaldi
 Metall. Sòlid.
 R 1,5 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2
88

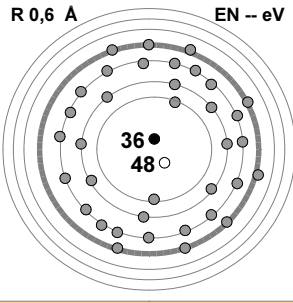
50 Cr
Carner
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2
119

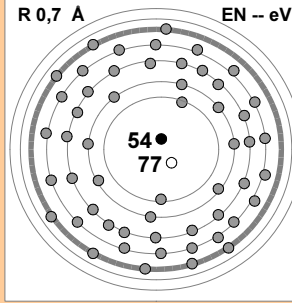
40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2
91

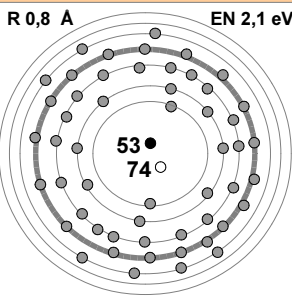
Etapa 7

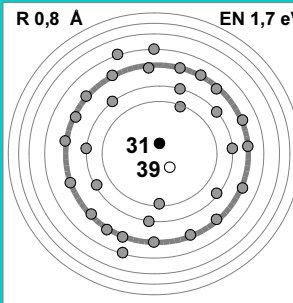
Equip 5

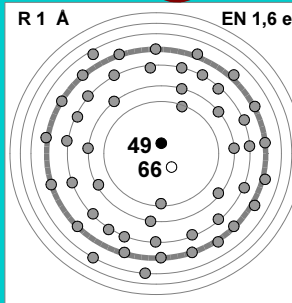
39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **84**

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

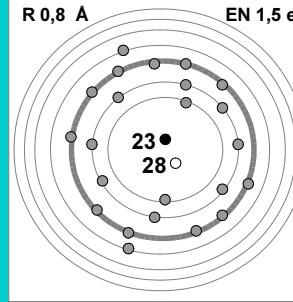
53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

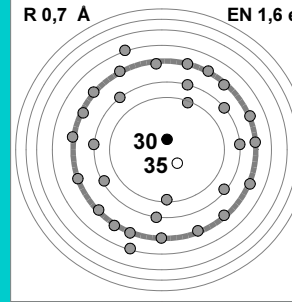
31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1 **70**

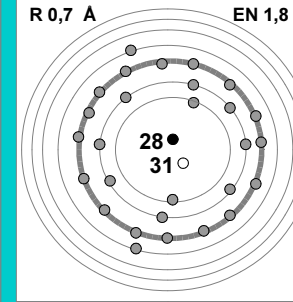
49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1 **132**

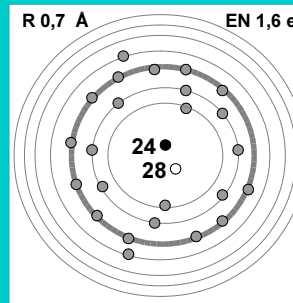
Etapa 8

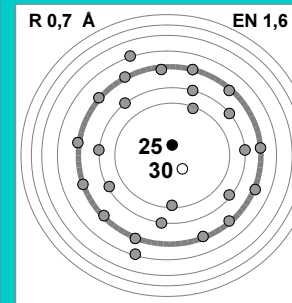
Equip 5

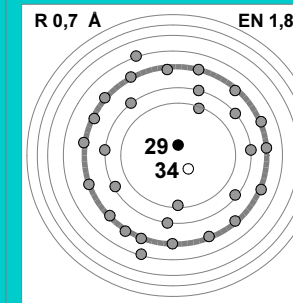
23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6
 4p6 **55**

30 Sv
Stiviinvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 **65**

28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8
 4p6 **58**

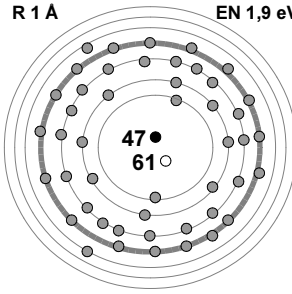
24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
 4p6 **63**

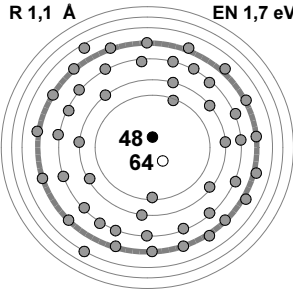
25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
 4p6 **54**

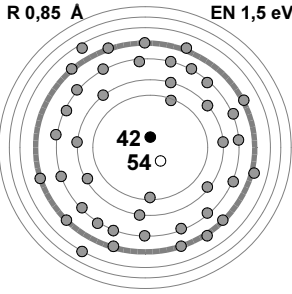
Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d7
 4p6 **58**

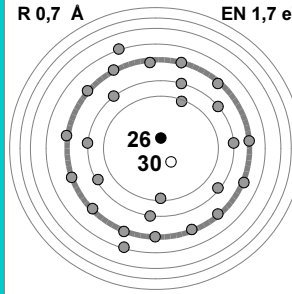
Etapa 9

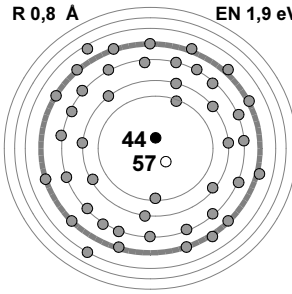
Equip 5

47 Mi
MicJagre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d9
108

48 T
Tinatarna
 Metall. Sòlid.
 R 1,1 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10
112

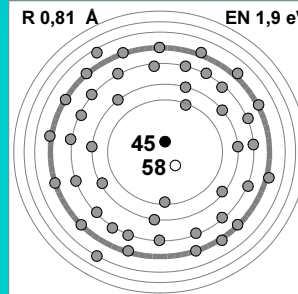
42 Ku
Kurtcoben
 Metall. Sòlid.
 R 0,85 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d4
93

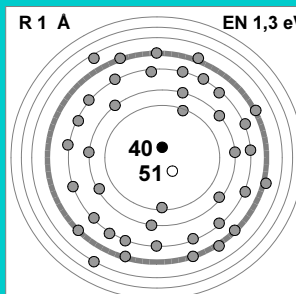
26 N
Ninasimoni
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6
56

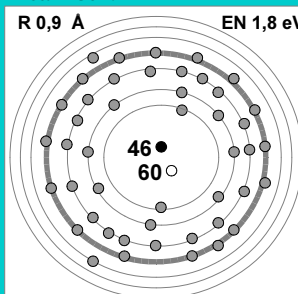
44 Ji
Jimorisen
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d6
101

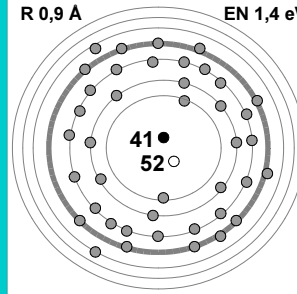
Etapa 10

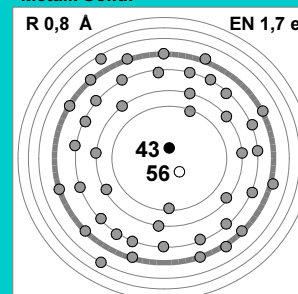
Equip 5

45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 A EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d7
103

40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d2
91

46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d8
106

41 Jc
Joucuca
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 A EN 1,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d3
93

43 Pt
Patsiclain
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d5
99

Etapa 1

Equip 6

9 Bu
Buda
No Metall. Gas.
R 0,32 A EN 4 eV

1s2 2s2 2p5
19

11 D
Dali
Metall. Sòlid.
R 1,2 A EN 1 eV

1s2 2s2 2p6 3s1
23

3 P
Picass
Metall. Sòlid.
R 0,8 A EN 1 eV

7

17 La
LaoTse
No Metall. Gas.
R 0,6 A EN 3,0 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
39

19 R
Renoir
Metall. Sòlid.
R 1,6 A EN 0,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

Co
Confuci
No Metall. Líquid.
R 0,7 A EN 2,8 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

Etapa 2

Equip 6

12 C
Chopin
Metall. Sòlid.
R 1 A EN 1,2 eV

1s2 2s2 2p6 3s2
9

6 Es
Espru
Metall. Sòlid.
R 0,38 A EN 2,5 eV

1s2 2s2 2p2
12

4 Mo
Mozart
Metall. Sòlid.
R 0,5 A EN 1,5 eV

9

16 PI
Plato
No Metall. Sòlid.
R 0,65 A EN 2,5 eV

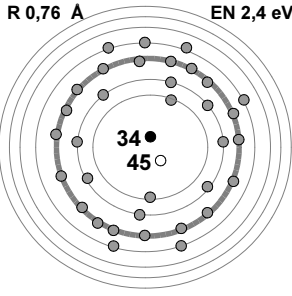
1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

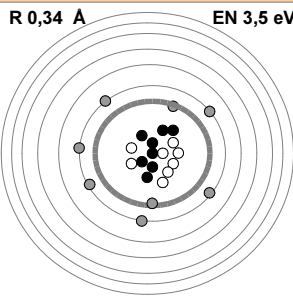
5 Ma
Machad
Metall. Sòlid.
R 0,4 A EN 2 eV

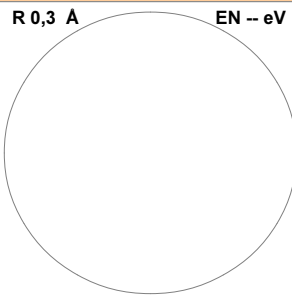
1s2 2s2 2p1
11

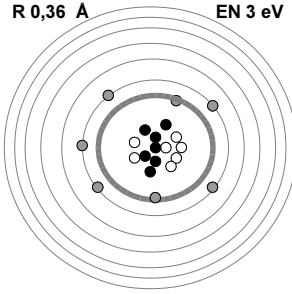
Etapa 3

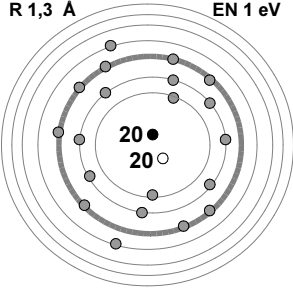
Equip 6

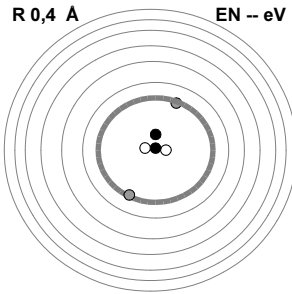
34 S
Socrat
 No Metall. Sòlid.
 R 0,76 Å EN 2,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4
79

8 Ar
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p4
16

10 En
Einstain
 No Metall. Gas.
 R 0,3 Å EN -- eV

 1s2 2s2 2p6
20

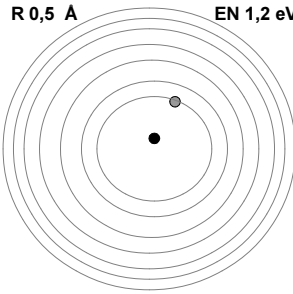
7 S
Stalin
 Metall. Gas.
 R 0,36 Å EN 3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2
14

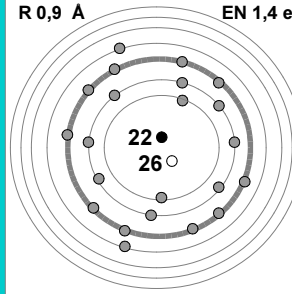
20 B
Betobén
 Metall. Sòlid.
 R 1,3 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2
14

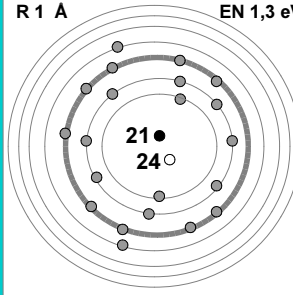
2 N
Niuton
 No Metall. Gas.
 R 0,4 Å EN -- eV

 1s2
4

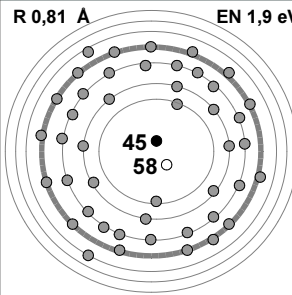
Etapa 4

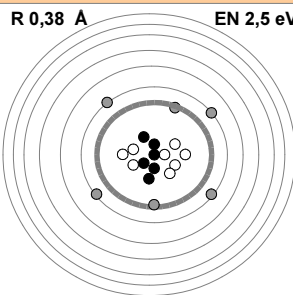
Equip 6

1 V
Vangog
 Metall. Gas.
 R 0,5 Å EN 1,2 eV

 1s1
1

22 Ma
Maiqueliasen
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,4 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2
48

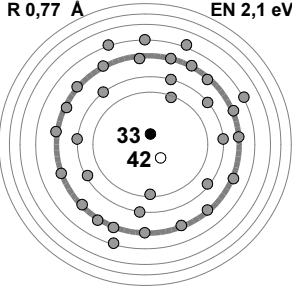
V
Vanmorris
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1
45

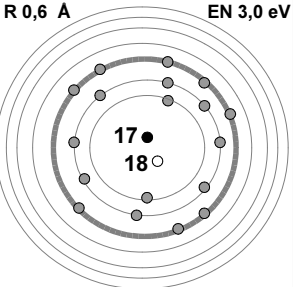
45 Pa
Pattismit
 Metall. Sòlid.
 R 0,81 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7
103

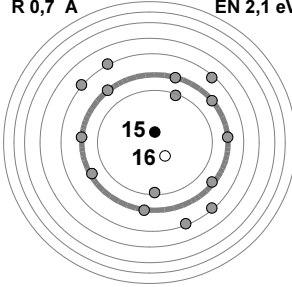
6 Ps
Papasseit
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
14

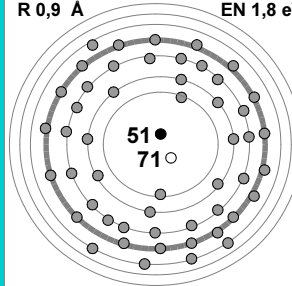
Etapa 5

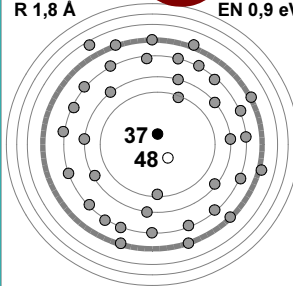
Equip 6

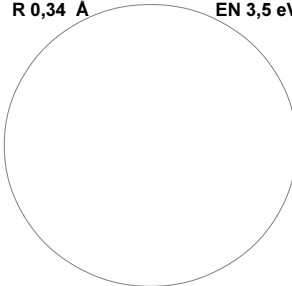
33 Ca
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p3
75

17 L¹⁻
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6
35

15 J
Julicesa
 No Metall. Sòlid.
 R 0,7 Å EN 2,1 eV

 R 0,7 Å EN 2,1 eV
31

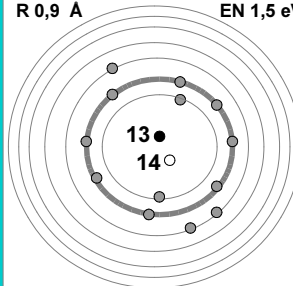
51 Ge
Gengiskan
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p3
122

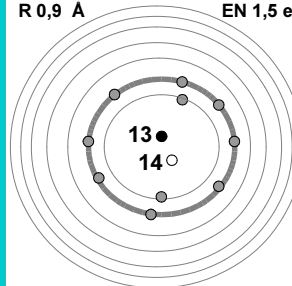
M
Monet
 Metall. Sòlid.
 R 1,8 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s1
85

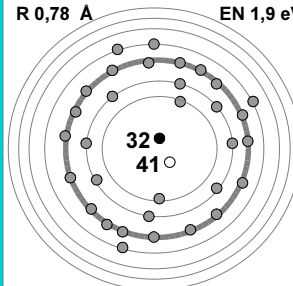
8 Ar²⁻
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p6
16

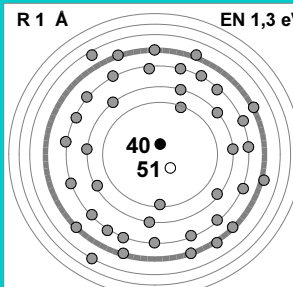
Etapa 6

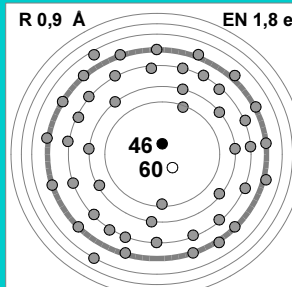
Equip 6

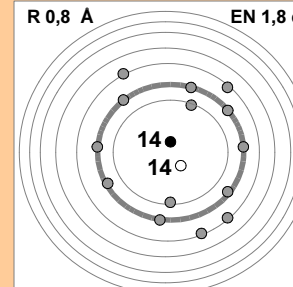
13 Lo
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 R 0,9 Å EN 1,5 eV
27

13 Lo³⁺
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6
27

32 Ve
Verdaguel
 Metall. Sòlid.
 R 0,78 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p2
73

40 Bi
Bibiquin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,3 eV

 R 1 Å EN 1,3 eV
 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2
91

46 L
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 R 0,9 Å EN 1,8 eV
 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8
106

14 L
Llull
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1,8 eV

 R 0,8 Å EN 1,8 eV
 1s2 2s2 2p6 3s2 3p2
106

Etapa 7

Equip 6

39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **84**

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1 **70**

49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1 **132**

Etapa 8

Equip 6

23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **51**

30 Sv
Stiviinvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **65**

28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8
 4p6 5s2 4d10 5p6 **59**

25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
 4p6 5s2 4d10 5p6 **55**

Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
 4p6 5s2 4d10 5p6 **63**

Etapa 9

Equip 6

<p>47 Mi MicJagre Metall. Sòlid. R 1 A EN 1,9 eV 47 ● 61 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d9 108</p>	<p>48 T Tinatarna Metall. Sòlid. R 1,1 A EN 1,7 eV 48 ● 64 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 112</p>	<p>42 Ku Kurtcoben Metall. Sòlid. R 0,85 A EN 1,5 eV 42 ● 54 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d4 93</p>
---	--	--

<p>26 N Ninasimoni Metall. Sòlid. R 0,7 A EN 1,7 eV 26 ● 30 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6 56</p>	<p>27 Pr Princi Metall. Sòlid. R 0,7 A EN 1,7 eV 27 ● 32 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d3 59</p>	<p>44 Ji Jimorisen Metall. Sòlid. R 0,8 A EN 1,9 eV 44 ● 57 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d6 101</p>
--	--	--

Etapa 10

Equip 6

<p>45 Pa Pattismit Metall. Sòlid. R 0,81 A EN 1,9 eV 45 ● 58 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7 103</p>	<p>40 Bi Bibiquin Metall. Sòlid. R 1 A EN 1,3 eV 40 ● 51 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d2 91</p>	<p>46 L Lurid Metall. Sòlid. R 0,9 A EN 1,8 eV 46 ● 60 ○ 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d8 106</p>
---	--	---

41 Jc
Joucuca
Metall. Sòlid.
R 0,9 A EN 1,4 eV

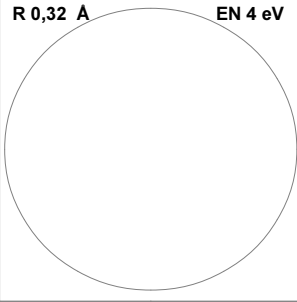
41 ●
52 ○
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3
93

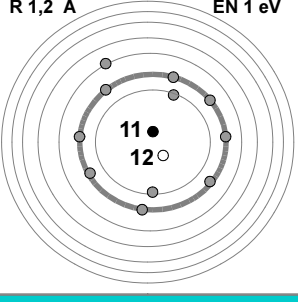
43 Pt
Patsiclain
Metall. Sòlid.
R 0,8 A EN 1,7 eV

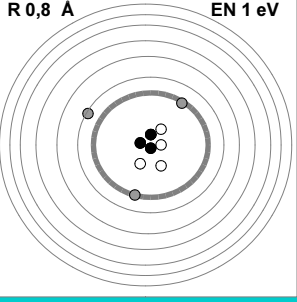
43 ●
56 ○
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d5
99

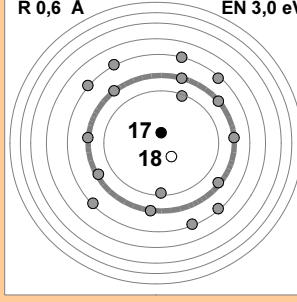
Etapa 1

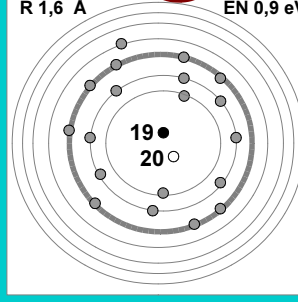
Equip 7

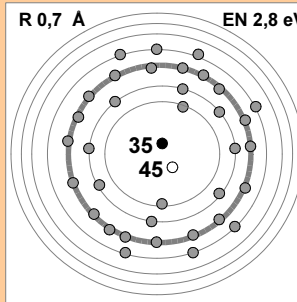
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

7

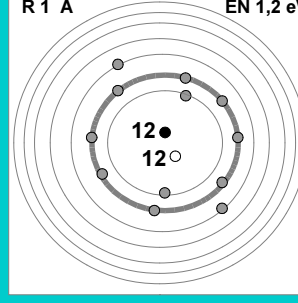
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
39

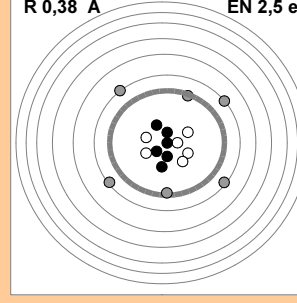
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
39

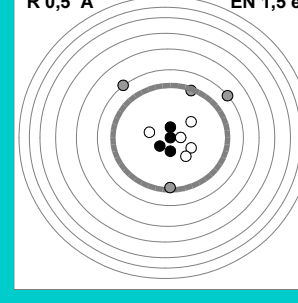
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
80

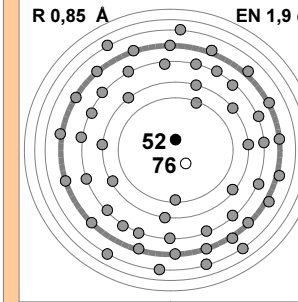
Etapa 2

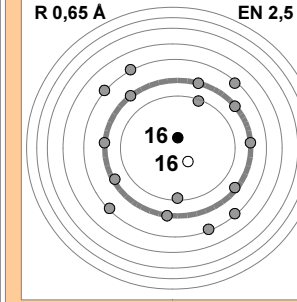
Equip 7

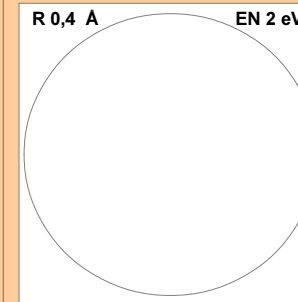
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

9

De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
128

16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
32

5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
11

Etapa 3

Equip 7

<p>34 S</p> <p>Socrat</p> <p>No Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,76 Å EN 2,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4</p> <p>79</p>	<p>8 Ar</p> <p>Aristot</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,34 Å EN 3,5 eV</p> <p>1s2 2s2 2p4</p> <p>16</p>	<p>10 En</p> <p>Einstein</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,3 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6</p> <p>20</p>
---	--	---

<p>7 S</p> <p>Stalin</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,36 Å EN 3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>14</p>	<p>20 B</p> <p>Betobén</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1,3 Å EN 1 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>45</p>	<p>2 N</p> <p>Niuton</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,4 Å EN -- eV</p> <p>1s2</p> <p>4</p>
--	---	--

Etapa 4

Equip 7

<p>1 V</p> <p>Vangog</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>1</p>	<p>22 Ma</p> <p>Maiqueliasen</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,9 Å EN 1,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2</p> <p>48</p>	<p>1 K</p> <p>Kandinsk</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>3</p>
--	---	--

<p>1 V</p> <p>Vanmorris</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1 Å EN 1,3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1</p> <p>45</p>	<p>18 GI</p> <p>Galileu</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1</p> <p>40</p>
--	--

Etapa 5

Equip 7

46 **L**

Lurid

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,8 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d8

106

17 **L¹⁻**

LaoTse

No Metall. Gas.

R 0,6 Å EN 3,0 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6

35

15 **J**

Julicesa

No Metall. Sòlid.

R 0,7 Å EN 2,1 eV

31

45 **Pa**

Pattismit

Metall. Sòlid.

R 0,81 Å EN 1,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d7

103

M

Monet

Metall. Sòlid.

R 1,8 Å EN 0,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s1

85

8 **Ar²⁻**

Aristot

Metall. Gas.

R 0,34 Å EN 3,5 eV

1s2 2s2 2p6

16

Etapa 6

Equip 7

13 **Lo**

Lorc

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,5 eV

27

13 **Lo³⁺**

Lorc

Metall. Sòlid.

R 0,9 Å EN 1,5 eV

1s2 2s2 2p6

27

32 **Ve**

Verdaguel

Metall. Sòlid.

R 0,78 Å EN 1,9 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p2

73

38 **Vi**

Vivaldi

Metall. Sòlid.

R 1,5 Å EN 1 eV

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2

88

40 **Bi**

Bibiquin

Metall. Sòlid.

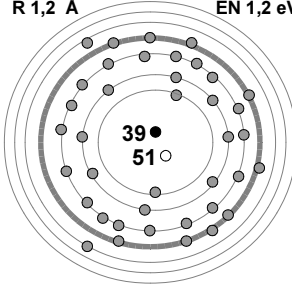
R 1 Å EN 1,3 eV

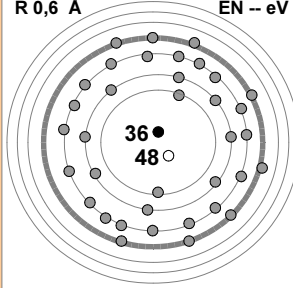
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d2

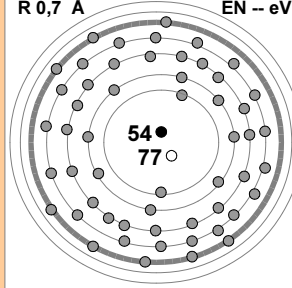
91

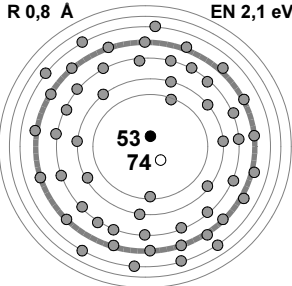
Etapa 7

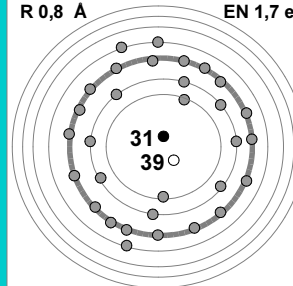
Equip 7

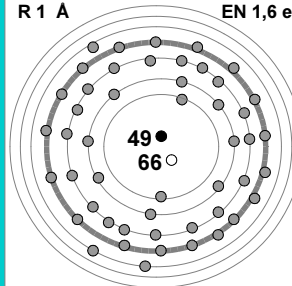
39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **84**

Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

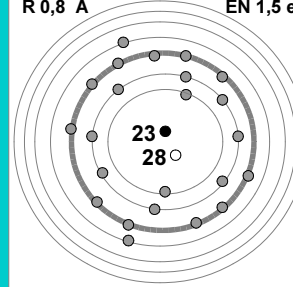
53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

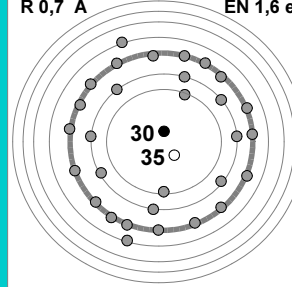
31 B
Beker
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p1 **70**

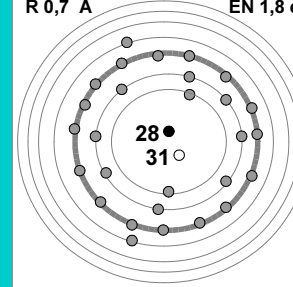
49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1 **132**

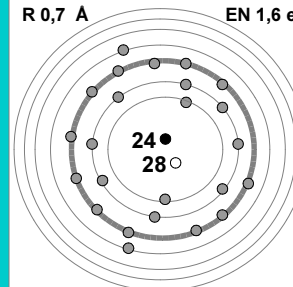
Etapa 8

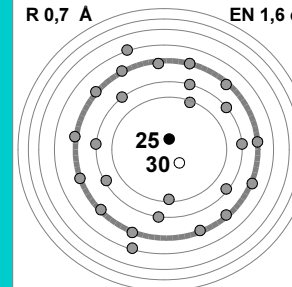
Equip 7

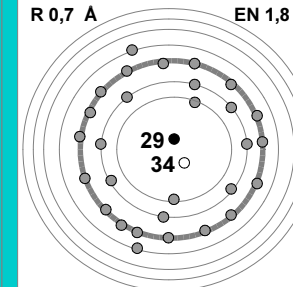
23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6
 4p6 **55**

30 Sv
Stiviinvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 **65**

28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8
 4p6 **58**

24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4
 4p6 **50**

25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
 4p6 **54**

Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
 4p6 **58**

Etapa 9

Equip 7

47 Mi

MicJagre

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,9 eV

47 ●
61 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d9

108

48 T

Tinatarna

Metall. Sòlid.

R 1,1 A EN 1,7 eV

48 ●
64 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d10

112

26 N

Ninasimoni

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV

26 ●
30 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6

56

27 Pr

Princi

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV

27 ●
32 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3

59

44 Ji

Jimorisen

Metall. Sòlid.

R 0,8 A EN 1,9 eV

44 ●
57 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d6

101

Etapa 10

Equip 7

45 Pa

Pattissmit

Metall. Sòlid.

R 0,81 A EN 1,9 eV

45 ●
58 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d7

103

40 Bi

Bibiquin

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,3 eV

40 ●
51 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d2

91

46 L

Lurid

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,8 eV

46 ●
60 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d8

106

41 Jc

Joucuca

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,4 eV

41 ●
52 ○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3

93

43 Pt

Patsiclain

Metall. Sòlid.

R 0,8 A EN 1,7 eV

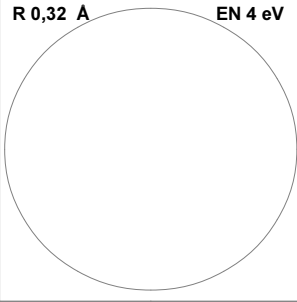
43 ●
56 ○

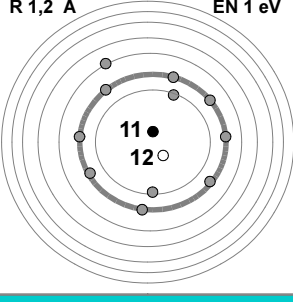
1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d5

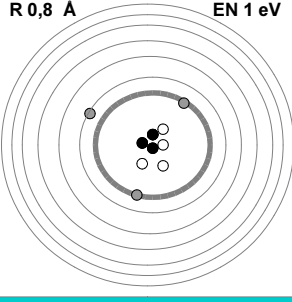
99

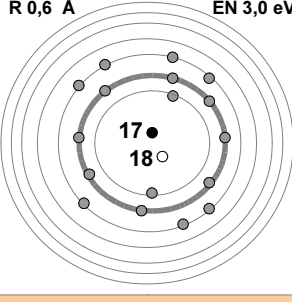
Etapa 1

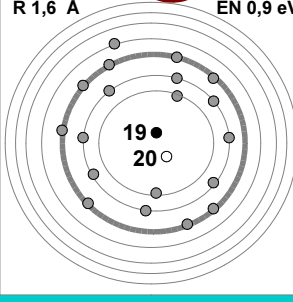
Equip8

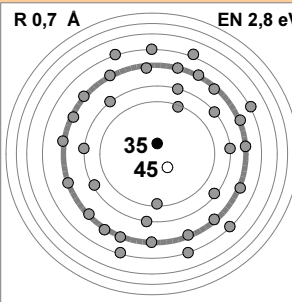
9 Bu
Buda
 No Metall. Gas.
 R 0,32 Å EN 4 eV

 1s2 2s2 2p5
 19

11 D
Dali
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s1
 23

3 P
Picass
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
 7

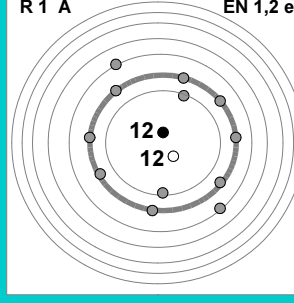
17 La
LaoTse
 No Metall. Gas.
 R 0,6 Å EN 3,0 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p5
 19

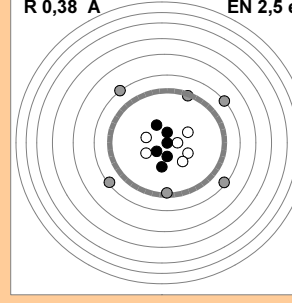
19 R
Renoir
 Metall. Sòlid.
 R 1,6 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s1
 39

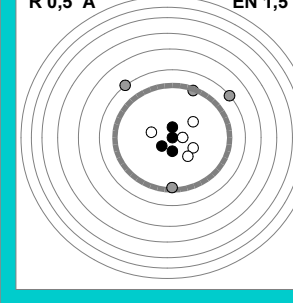
Co
Confuci
 No Metall. Líquid.
 R 0,7 Å EN 2,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p5
 80

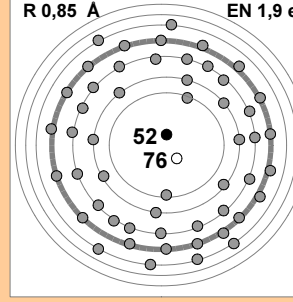
Etapa 2

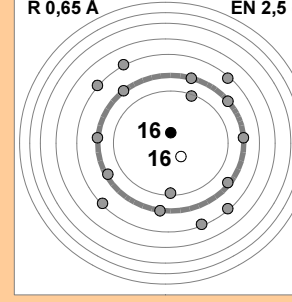
Equip8

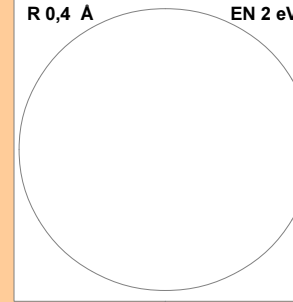
12 C
Chopin
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2
 12

6 Es
Espru
 Metall. Sòlid.
 R 0,38 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p2
 12

4 Mo
Mozart
 Metall. Sòlid.
 R 0,5 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p1
 9

De
Descarts
 No Metall. Sòlid.
 R 0,85 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d10 5p4
 128

16 PI
Plato
 No Metall. Sòlid.
 R 0,65 Å EN 2,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p4
 32

5 Ma
Machad
 Metall. Sòlid.
 R 0,4 Å EN 2 eV

 1s2 2s2 2p1
 11

Etapa 3

Equip8

<p>34 S Socrat</p> <p>No Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,76 Å EN 2,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p4</p> <p>79</p>	<p>8 Ar Aristot</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,34 Å EN 3,5 eV</p> <p>1s2 2s2 2p4</p> <p>16</p>	<p>10 En Einstein</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,3 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6</p> <p>20</p>
---	--	---

<p>7 S Stalin</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,36 Å EN 3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>14</p>	<p>20 B Betobén</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1,3 Å EN 1 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2</p> <p>45</p>	<p>2 N Niuton</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,4 Å EN -- eV</p> <p>1s2</p> <p>4</p>
--	---	--

Etapa 4

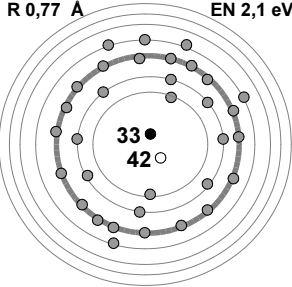
Equip8

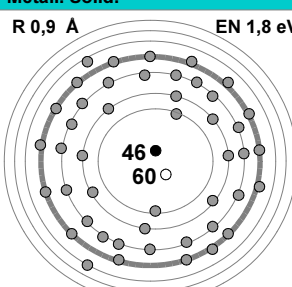
<p>1 V Vangog</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>1</p>	<p>22 Ma Maiqueliasen</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,9 Å EN 1,4 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d2</p> <p>48</p>	<p>1 K Kandinsk</p> <p>Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN 1,2 eV</p> <p>1s1</p> <p>3</p>
--	---	--

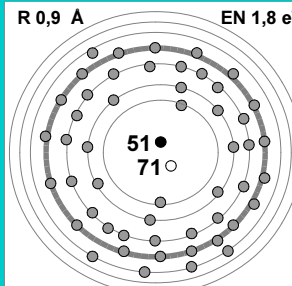
<p>21 V Vanmorris</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 1 Å EN 1,3 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d1</p> <p>45</p>	<p>18 GI Galileu</p> <p>No Metall. Gas.</p> <p>R 0,5 Å EN -- eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7</p> <p>40</p>	<p>45 Pa Pattismit</p> <p>Metall. Sòlid.</p> <p>R 0,81 Å EN 1,9 eV</p> <p>1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2 4d7</p> <p>103</p>
---	---	---

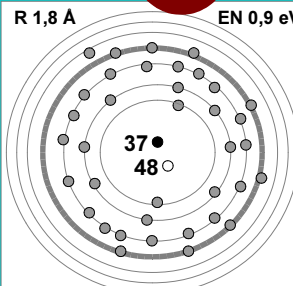
Etapa 5

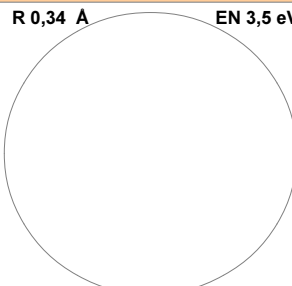
Equip8

33 **Ca**
Carlomag
 No Metall. Sòlid.
 R 0,77 Å EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p3 **75**

46 **L**
Lurid
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d8 **106**

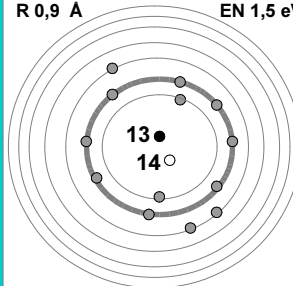
51 **Ge**
Gengiskan
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p3 **122**

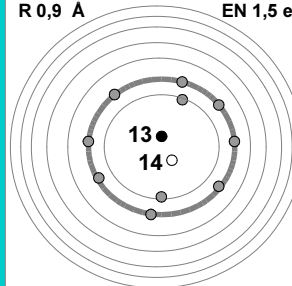
37 **M**
Monet
 Metall. Sòlid.
 R 1,8 Å EN 0,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s1 **85**

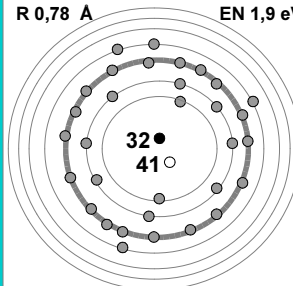
8 **Ar²⁻**
Aristot
 Metall. Gas.
 R 0,34 Å EN 3,5 eV

 1s2 2s2 2p6 **16**

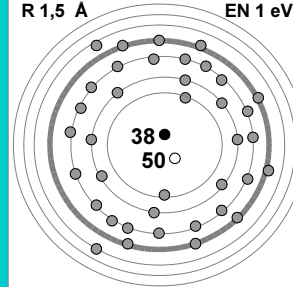
Etapa 6

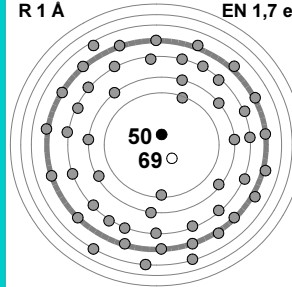
Equip8

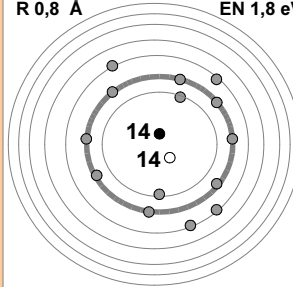
13 **Lo**
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

27

13 **Lo³⁺**
Lorc
 Metall. Sòlid.
 R 0,9 Å EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 **27**

32 **Ve**
Verdaguel
 Metall. Sòlid.
 R 0,78 Å EN 1,9 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p2 **73**

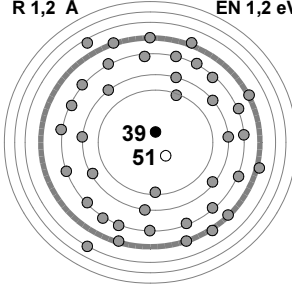
38 **Vi**
Vivaldi
 Metall. Sòlid.
 R 1,5 Å EN 1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 **88**

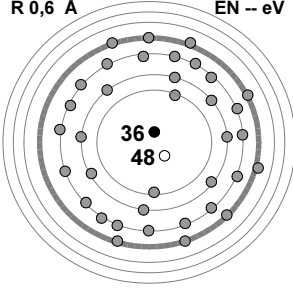
50 **Cr**
Carner
 Metall. Sòlid.
 R 1 Å EN 1,7 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p2 **119**

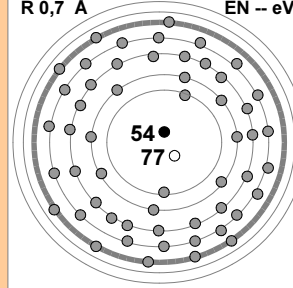
14 **L**
Llull
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 Å EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p2

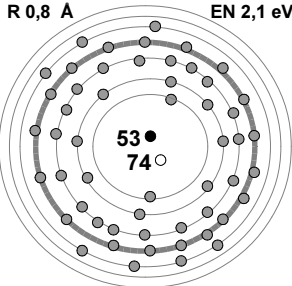
Etapa 7

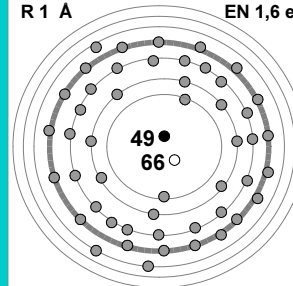
Equip8

39 De
Deiviboui
 Metall. Sòlid.
 R 1,2 A EN 1,2 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d1 **90**

36 Me
Mendel
 No Metall. Gas.
 R 0,6 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **84**

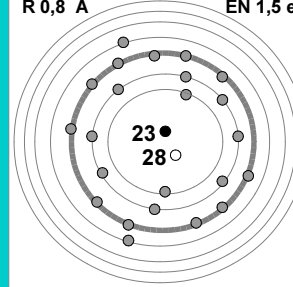
Pt
Pasteur
 No Metall. Gas.
 R 0,7 A EN -- eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **131**

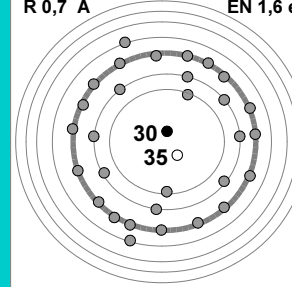
53 Ag
Agusti
 No Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 2,1 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p5 **127**

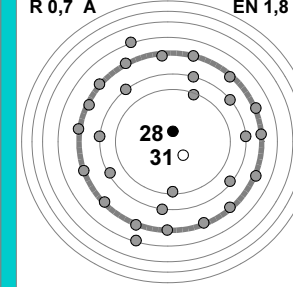
49 Cs
Castre
 Metall. Sòlid.
 R 1 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p1 **132**

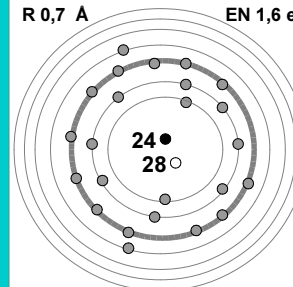
Etapa 8

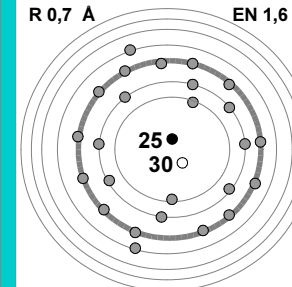
Equip8

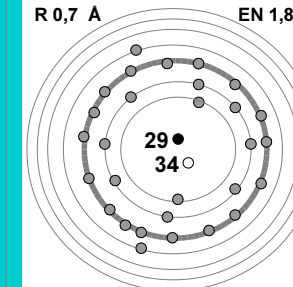
23 Jo
Jonlihuka
 Metall. Sòlid.
 R 0,8 A EN 1,5 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **51**

30 Sv
Stiviuvud
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
 4p6 5s2 4d10 5p6 **65**

28 E
Elvispresli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d8
 4p6 5s2 4d10 5p6 **59**

24 A
Aretafrankli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d4
 4p6 5s2 4d10 5p6 **58**

25 Ja
Janisjopli
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,6 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d5
 4p6 5s2 4d10 5p6 **55**

Bo
Bonó
 Metall. Sòlid.
 R 0,7 A EN 1,8 eV

 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d9
 4p6 5s2 4d10 5p6 **63**

Etapa 9

Equip8

47 Mi

MicJagre

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,9 eV

47●
61○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d9

108

48 T

Tinatarna

Metall. Sòlid.

R 1,1 A EN 1,7 eV

48●
64○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d10

112

Ku

Kurtcoben

Metall. Sòlid.

R 0,85 A EN 1,5 eV

42●
54○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d4

93

26 N

Ninasimoni

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV

26●
30○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d6

56

27 Pr

Princi

Metall. Sòlid.

R 0,7 A EN 1,7 eV

27●
32○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d6

59

44 Ji

Jimorisen

Metall. Sòlid.

R 0,8 A EN 1,9 eV

44●
57○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d6

101

Etapa 10

Equip8

45 Pa

Pattismit

Metall. Sòlid.

R 0,81 A EN 1,9 eV

45●
58○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d7

103

40 Bi

Bibiquin

Metall. Sòlid.

R 1 A EN 1,3 eV

40●
51○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d2

91

46 L

Lurid

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,8 eV

46●
60○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d8

106

41 Jc

Joucuca

Metall. Sòlid.

R 0,9 A EN 1,4 eV

41●
52○

1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10
4p6 5s2 4d3

93

EXAMEN Ciència i Societat

Nom i Cognoms.....

Fes els models Frayer dels termes que proposa el professor:

TERME:	
Característiques fonamentals	Característiques secundàries
Representació	Termes relacionats #

TERME:	
Característiques fonamentals	Característiques secundàries
Representació	Termes relacionats #

TERME:	
Característiques fonamentals	Característiques secundàries
Representació	Termes relacionats #

2) Completa la informació que falta en les següents targetes.

8

Polmacarn

R 0,34 Å EN 3,5 eV

16

5 **O**

Otisrid

R 0,4 Å EN 2 eV

1s² 2s² 2p¹

11

18 **J**

Jonicax

R 0,5 Å EN -- eV

40

30 **Sv**

Stiviuvud

R 0,7 Å EN 1,6 eV

1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹⁰

2) Fent servir la informació disponible a les targetes, i la taula periòdica que tens al final, digues a quin element real es correspon cadascun dels 4 elements de la pregunta anterior i justifica la resposta en base a la seva configuració electrònica.

Polmacarn és.....perquè.....

Otisrid és.....perquè.....

Jonicax és.....perquè.....

Stiviuinud és.....perquè.....

3) Dels següents àtoms, fes-ne la representació de Lewis (et pot caldre fer-ne la representació electrònica), Dedueix-ne la valència, quin seria el ió corresponent. Digues també si és un Metall o un No-Metall i si la seva Electronegativitat serà alta o baixa i perquè.

$^{35}_{17}\text{Cl}$ Clor

$^{16}_8\text{O}$ Oxigen

$^{55}_{26}\text{Fe}$ Ferro

4) Dibuixa les estructures de Lewis i anomena els següents compostos. Si et falta informació, usa la taula periòdica adjunta. Digues en cada cas quins elements són metalls, quins no-metalls, i justifica el tipus d'enllaç que es forma (iònic o covalent)

a)



b)



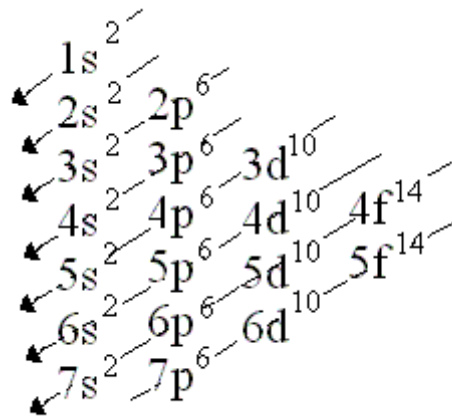
5) Busca a la taula periòdica els següents elements i respon per a cadascun les següents preguntes:

	Mg	S	K	Al
Metall, metal·loide o no metall?				
Quin tipus d'enllaç formaria amb l'Oxigen? Iònic o covalent?				
Digues dos elements que tindran propietats químiques semblants				
Ordena'ls segons electronegativitat ($x > y > z$)				
Ordena'ls segons radi (volum) ($x > y > z$)				
Ordena'ls segons massa ($x > y > z$)				

6. Associa els elements de cada columna.

1. Isòtop	a) Té tendència a cedir electrons
2. Número atòmic	b) Omple orbitals de la penúltima capa d'electrons
3. Radioactivitat	c) Nivell d'energia en què cada electró gira al voltant del nucli
4. València	d) Compost amb Hidrogen
5. Octet	e) Compost amb Oxigen
6. Metall	f) Té una estructura s1 en la darrera capa
7. Gas noble	g) Àtom d'igual nombre de protons i diferent nombre de neutrons
8. Metall de transició	h) Nombre de protons
9. Orbital	i) Àtom que compleix la regla de l'octet.
10. Hidrur	j) Emissió energia i partícules per inestabilitat de l'àtom
11. Òxid	k) Nombre d'electrons que un àtom «guanya» o «perd» en un enllaç
12. Alcalí	l) Regla que prediu que els àtoms tendeixen a intentar completar els orbitals s i p de la seva darrera capa.

Eines que et poden ser útils



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

1 H <small>Hydrogen</small>																	2 He <small>Helium</small>
3 Li <small>Lithium</small>	4 Be <small>Beryllium</small>											5 B <small>Boron</small>	6 C <small>Carbon</small>	7 N <small>Nitrogen</small>	8 O <small>Oxygen</small>	9 F <small>Fluorine</small>	10 Ne <small>Neon</small>
11 Na <small>Sodium</small>	12 Mg <small>Magnesium</small>											13 Al <small>Aluminum</small>	14 Si <small>Silicon</small>	15 P <small>Phosphorus</small>	16 S <small>Sulfur</small>	17 Cl <small>Chlorine</small>	18 Ar <small>Argon</small>
19 K <small>Potassium</small>	20 Ca <small>Calcium</small>	21 Sc <small>Scandium</small>	22 Ti <small>Titanium</small>	23 V <small>Vanadium</small>	24 Cr <small>Chromium</small>	25 Mn <small>Manganese</small>	26 Fe <small>Iron</small>	27 Co <small>Cobalt</small>	28 Ni <small>Nickel</small>	29 Cu <small>Copper</small>	30 Zn <small>Zinc</small>	31 Ga <small>Gallium</small>	32 Ge <small>Germanium</small>	33 As <small>Arsenic</small>	34 Se <small>Selenium</small>	35 Br <small>Bromine</small>	36 Kr <small>Krypton</small>
37 Rb <small>Rubidium</small>	38 Sr <small>Strontium</small>	39 Y <small>Yttrium</small>	40 Zr <small>Zirconium</small>	41 Nb <small>Niobium</small>	42 Mo <small>Molybdenum</small>	43 Tc <small>Technetium</small>	44 Ru <small>Ruthenium</small>	45 Rh <small>Rhodium</small>	46 Pd <small>Palladium</small>	47 Ag <small>Silver</small>	48 Cd <small>Cadmium</small>	49 In <small>Indium</small>	50 Sn <small>Tin</small>	51 Sb <small>Antimony</small>	52 Te <small>Tellurium</small>	53 I <small>Iodine</small>	54 Xe <small>Xenon</small>
55 Cs <small>Cesium</small>	56 Ba <small>Barium</small>	57 La [*] <small>Lanthanum</small>	72 Hf <small>Hafnium</small>	73 Ta <small>Tantalum</small>	74 W <small>Tungsten</small>	75 Re <small>Rhenium</small>	76 Os <small>Osmium</small>	77 Ir <small>Iridium</small>	78 Pt <small>Platinum</small>	79 Au <small>Gold</small>	80 Hg <small>Mercury</small>	81 Tl <small>Thallium</small>	82 Pb <small>Lead</small>	83 Bi <small>Bismuth</small>	84 Po <small>Polonium</small>	85 At <small>Astatine</small>	86 Rn <small>Radon</small>
87 Fr <small>Francium</small>	88 Ra <small>Radium</small>	89 Ac ^{**} <small>Actinium</small>	104 Rf <small>Rutherfordium</small>	105 Db <small>Dubnium</small>	106 Sg <small>Seaborgium</small>	107 Bh <small>Berkelium</small>	108 Hs <small>Hassium</small>	109 Mt <small>Moscovium</small>	110 Ds <small>Darmstadtium</small>	111 Rg <small>Roentgenium</small>	112 Cn <small>Copernicium</small>	113 Uut <small>Ununtrium</small>	114 Uuq <small>Ununquadium</small>	115 Uup <small>Ununpentium</small>	116 Uuh <small>Ununhexium</small>	117 Uus <small>Ununseptium</small>	118 Uuo <small>Ununoctium</small>

[*] 58 Ce <small>Cerium</small>	59 Pr <small>Praseodymium</small>	60 Nd <small>Niobium</small>	61 Pm <small>Promethium</small>	62 Sm <small>Samarium</small>	63 Eu <small>Europium</small>	64 Gd <small>Gadolinium</small>	65 Tb <small>Terbium</small>	66 Dy <small>Dysprosium</small>	67 Ho <small>Holmium</small>	68 Er <small>Erbium</small>	69 Tm <small>Thulium</small>	70 Yb <small>Ytterbium</small>	71 Lu <small>Lutetium</small>
^{**} 90 Th <small>Thorium</small>	91 Pa <small>Protactinium</small>	92 U <small>Uranium</small>	93 Np <small>Neptunium</small>	94 Pu <small>Plutonium</small>	95 Am <small>Ameicium</small>	96 Cm <small>Curium</small>	97 Bk <small>Berkelium</small>	98 Cf <small>Californium</small>	99 Es <small>Einsteinium</small>	100 Fm <small>Fermium</small>	101 Md <small>Mendelevium</small>	102 No <small>Nobelium</small>	103 Lr <small>Lrénium</small>