

# Ynni, Gwaith a Chymhlethdod:

Saith Chwyldro Hanesyddol

*Gareth Wyn Jones*

## 1. Rhagymadrodd

### 1.1 Natur y ddamcaniaeth

Anrhydedd mawr oedd derbyn y gwahoddiad i gyflwyno Darlith Edward Lluyd. 'Rwyf yn hynod ddiolchgar i'r Coleg Cymraeg Cenedlaethol ac i'r Gymdeithas Ddysgedig Gymreig am eu cefnogaeth ac am ymddiried ynof.

Fy mwriad yw cyflwyno dehongliad o hanes bywyd ar ein planed dros 4.5 biliwn blwyddyn ei bodolaeth, gan nodi hefyd rai newidiadau i'r atmosffer a'r lithosffer. Gwnaf hyn yn nhermau'r berthynas rhwng **ynni** a'r gallu a ddaw yn ei sgil i wneud **gwaith**. Craidd fy nehongliad yw bod modd adnabod chwe chwyldro ynni ffurfiannol yn hanes ein planed, ac ynddynt amlygir patrymau cyson. Yn benodol, drwy ffrwyno ffynhonnell newydd o **ynni**, daw'r potensial nid yn unig i wneud **gwaith** ychwanegol, ond bydd y gwaith hwnnw'n arwain at **gymhlethdod materol** ac yn ddiweddar, at **gymhlethdod cymdeithasol** cynyddol. Byddaf yn dadansoddi'r patrymau a'u goblygiadau yn fwy manwl yn ddiweddarach ac yn eu hystyried mewn perthynas â'r seithfed chwyldro, un sydd ar ein gwarthaf ni heddiw.

Fel y gwelwch ceisiaf ymdrin â chynfas eithriadol o eang sy'n rhychwantu sawl maes academiaidd – ymgais fentrus mi dybiaf, onid ffôl efallai. Does ond gobeithio, felly, y byddai'r athrylith mawr, Edward Lluyd ei hun, yn cymeradwyo fy ymdrechion ac, o bosib, yn cytuno â'm casgliadau!

Yn yr erthygl amlinellaf yn fyr brif nodweddion y chwe chwyldro hanesyddol cyn troi at y casgliadau. Wedyn trafodaf, eto yn fyr iawn, natur y seithfed chwyldro, gan danlinellu'r gwersi a gynigir gan y chwech blaenorol. Dylwn ymddiheuro fod fy ymdriniaeth â'r pynciau unigol yn frysiog ac yn arwynebol gan fod gofod yr erthygl yn gyfyngedig. Gellir dilyn fy nabl a'r dadansoddiadau yn fanylach yn y llyfr sydd i'w gyhoeddi yn Saesneg gan Wasg Prifysgol Cymru yn y gwanwyn.

Fel yr awgrymais uchod, ceir ym mhob un o'r chwe chwyldro drawsnewidiad o ynni i greu cymhlethdod materol. Yn hyn clywir adlais o hafaliad enwog Einstein [ $e = mc^2$ ] sy'n diffinio'r berthynas ffisegol rhwng ynni a mater. Wrth gwrs, nid wyf am hawlio perthynas fesuradwy debyg. Er bod y berthynas rhwng ynni a datblygiad materol yn greiddiol ac yn sylfaenol nid yw'n esbonio nifer o ddatblygiadau hynod bwysig.

## 1.2. Y Syniadaeth Wyddonol

Mewn ffiseg diffinnir **ygni** fel “**y gallu i wneud gwaith**”, er bod tarddiad yr ygni a’r gwaith a gyflawnir yn amrywiol y tu hwnt. Defnyddiaf ddwy enghraifft i egluro hyn. Gellir ffrwyno’r ygni mewn dŵr sy’n llifo o ben y mynydd i’r dyffryn islaw - sef ygni a ddaw drwy rym disgrychiant - i droi tyrbîn i greu ygni mecanyddol; ac, o gyplysu grymoedd electro-magnetig i’r tyrbîn, gellir cynhyrchu trydan - sef llif o electronau i lawr graddiant ygni. Gellir defnyddio’r trydan i gynhesu tân trydan [gwres ymbelydrol], neu i oleuo lamp [ymbelydredd gweledol], neu i bweru ein cyfrifiaduron neu ein rhewgelloedd. Yr ail enghraifft berthnasol yw’r ygni cemegol sydd mewn sylweddau carbon fel petrol neu siwgr. Os yw’n sylwedd rhydwythiol [*reduced*] gyda sawl moleciwl o hydrogen ynddo, yna o’i ‘fudlosgi’ (yn dechnegol ei ocsideiddio) rhyddheir ygni. Yn achos petrol mae’r ygni yn gyrru ein moduron (ynni mecanyddol) ac yn achos y siwgrau mae’n cynnal ein cyrff. Yn ôl y cysyniad ffisegol **pŵer** yw’r ygni a ddefnyddir dros amser penodol, heb wrth gwrs ystyried gwerth nac amcan y gwaith. Mae’r syniad o **ygni** yn galluogi **gwaith** a **gwaith** yn creu **pŵer** yn ganolog i’r erthygl hon.

Yn ogystal â’r ddibyniaeth ar lif o ygni, y mae trosglwyddiad **gwybodaeth** yn hanfodol i alluogi **bywyd** i fodoli ac i genhedlu. Ymgorfforir gwybodaeth yn y cod genetig sydd yn rhan o linyddau DNA. Mae’n bwysig nodi mai dim ond mewn celloedd sy’n berchen ar gyfansoddiad cemegol arbennig ac sydd o dan reolaeth fanwl y gellir darllen negeseuon DNA yn gywir. Hynny yw, mae **celloedd** yn gwbl hanfodol i fywyd. Y mae gan bob cell beirianwaith cywrain i sicrhau bod ganddynt gyfansoddiad biocemegol cywir a chyson sy’n eu galluogi i ymateb i newidiadau allanol er mwyn cynnal y cysondeb mewnol – proses a elwir yn **homeostasis**.

## 2: Y Chwe Chwyldro Hanesyddol

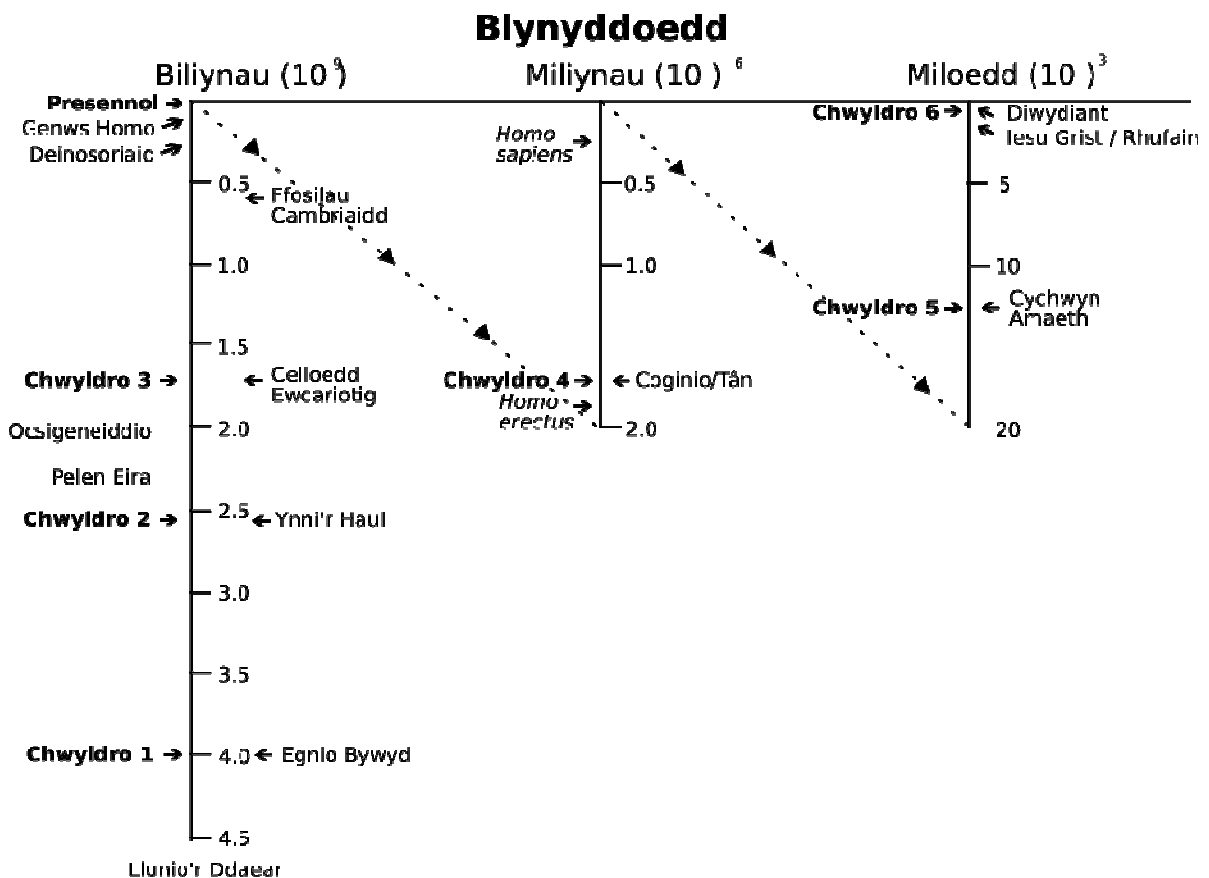
Gwelir yn Nhabl 1 a Ffigwr 1 amlinelliad o’r chwe phrif chwyldro ygni hanesyddol ynghyd â rhai o’u nodweddion ac amseriad y digwyddiadau. Cyfeiriaf hefyd at y seithfed chwyldro yr ydym yn byw drwyddo ar hyn o bryd.

**Tabl 1: Y Digwyddiadau**

<b>Chwyldroadau</b>	<b>Amseriad</b>	<b>Y Prif Elfennau</b>
1. Egnïo Bywyd	~4 biliwn blld.	Genedigaeth Celloedd Procarïotig: Grym Graddiannau Protonau
2. Cynaeafu Ynni’r Haul	~2.7 biliwn blld.	Esblygiad Ffotosynthesis: Ehangu’r gadwyn fwyd: Ocsigeneiddio’r awyra’r môr
3. Esblygiad Celloedd Ewcariotaidd Egnïol.	~2 i 1.7 biliwn blld.	Traflynciad bacteria i greu mitocondria i egnïo celloedd cymhleth. Sefydlu rhyw, detholiad naturiol a

		chystadleuaeth Ddarwinaidd.
4. Dyfodiad yr Hominid: Gallu nid Grym.	~2 miliwn bldd.	Rheoli tân i goginio bwyd gan ychwanegu at yr ynni a'rmaeth. Buddsoddiad yr ynni yn yr ymennydd a galluoedd meddyliol.
5. Y Chwyldro Amaethyddol.	~10 i 5,000 bldd.	Datblygiad amaeth gan fachu mwy o ynni ffotosynthetig at ddefnydd dyn. Sefydlu cymunedau poblog, sefydlog, yn meithrin galluoedd cymdeithasol.
6. Y Chwyldro Diwydiannol: Tanwydd Ffossil.	~250 bldd yn ôl.	Datblygu peiriannau stêm, trydan a phetrol. Twf technoleg, gwyddoniaeth, cyfalafiaeth a masnach fyd-eang.
7. Her yr Oes Anthropogenaidd		Newid Hinsawdd a Chynhesu Byd Eang. Bygythiad i olud y rhai ffodus, ond i fywydau y rhai tlawd.

Ffigwr 1. Amseriad y Prif Ddigwyddiadau



## 2.1—Y Chwyldro Cyntaf - Egnïo bywyd drwy ffrwyno'r ynni mewn graddiant o brotonau ac electronau.

Cyfeirir yn aml at enynnau, DNA a'r helics dwbl a'r dystiolaeth ryfeddol fod cod bywyd wedi ei argraffu mewn llythrennau (triawdau o fasau) mewn llinynnau DNA. Newidiodd darganfyddiadau Watson a Crick a'u cyfoedion, nid yn unig ein byd-olwg, ond hefyd ein gallu i arbrofi ac i ymyrryd ym meysydd peirianeg enetig a meddygaeth. Llwyddodd llyfrau fel 'The Selfish Gene' [1] i boblogeiddio'r maes ac i wneud yr awdur Richard Dawkins yn fyd enwog – yn eilun i rai onid yn elyn i eraill. Ond mae DNA yn ddo'i hun yn gemegolyn hynod sefydlog a dyna paham mae'n werthfawr mewn ymchwiliadau fforensig ac yn gymorth i olrhain esblygiad rhywogaethau megis dyn.

Lawn mor bwysig i fywyd, er nad yw'n rhan o'r ymwybyddiaeth gyffredin, yw'r ffaith fod pob cell fywiog yn gwbl ddibynol ar ddefnyddio llif cyson o ynni i'w chynnal [2][3]. Mae'n ofynnol cyrchu llif di-dor o ynni i gadw celloedd yn bell o gydbwysedd gyda'u hamgylchedd gan sicrhau fod eu cyfundrefn fewnol yn fanwl gyson ac yn addas i gynnal bywyd. Yn benodol rhaid wrth y cysondeb mewnol i ddarllen y negeseuon mewn DNA (mewn ribosomau) ac i ddefnyddio'r wybodaeth i gynhyrchu prodinau – catalyddion pob gweithgaredd yn y gell [4]. I gyflawni hyn rhaid i bob cell feddu ar allu 'homeostatig' manwl. Yn ôl damcaniaeth enwog Schrodinger (1944), y gallu i greu ynys o drefn (sef y gell) mewn llif o ynni yw hanfod bywyd, er bod y tueddiad ffisegol yn arwain at anhrefn [5].

Yn ôl damcaniaeth Lane (2015) y ffynhonnell ynni a alluogodd y gell gyntaf i fodoli ac, yn ddiweddarach, i atgynhyrchu, oedd graddiant naturiol pH, sef graddiant o brotonau [H<sup>+</sup>] [6]. Mae graddiannau naturiol tebyg yn bodoli heddiw mewn llif o ddŵr alcali sy'n tasgu o grombil y ddaear drwy dyrrau thermol o greigiau rhydylllog yn codi o wely'r cefnforoedd. Yn ôl y ddamcaniaeth, esgorodd y peirianwaith naturiol hwn ar amgylchiadau addas wnaeth ganiatáu'r proto-gelloedd cyntaf i esblygu'r peirianwaith bywydegol gwreiddiol. Defnyddiwyd y graddiant o [H<sup>+</sup>] a [e<sup>-</sup>] i yrru nano-beiriant — yr ensim ATPase — i gynhyrchu ATP, sef yr "arian ynni" sy'n egnïo ac yn rheoli gwaith y gell. Hynny yw troi'r ynni ffisegol (yn y graddiannau o brotonau) yn ynni cemegol. Hwn, yn ôl y ddamcaniaeth, oedd y cam tyngedfennol wnaeth alluogi bywyd i fodoli ar ein planed ac a gynhaliodd y gofod mewnol biocemegol sefydlog.

Mae'r dystiolaeth yn awgrymu i'r broses hon ddatblygu ar y Blaned Ddaear oddeutu 4 biliwn o flynyddoedd yn ôl. Yn rhyfeddol goroesodd bron yn ddigyfnewid yn y celloedd sy'n rhan o adeiladwaith pob creadur heddiw, gan gynnwys dyn.

Yn y cyfnodau cynnar — Yr Hadean a'r Archaean — ychydig o ffynonellau o electronau egnïol oedd yn bodoli ac yr oedd y derbynyddion angenrheidiol i fewn-sugno electronau llai egnïol hefyd yn brin. Yn ôl pob tebyg yr oedd y potensial i greu amrywiaeth bywyd yn gyfyng. Eto hwn oedd y cam tyngedfennol a egniodd fywyd a dechrau'r broses o drawsnewid ynni i fod yn gymhlethdod materol dyrys a rhyfeddol, sef yn gelloedd byw. O ganlyniad, newidiwyd ein planed, nid yn unig yn fywydegol ond hefyd yn gemegol megis yng nghyfansoddiad cemegol y môr, yr awyr a'r ddaear yn ei chreigiau gwaddod [6].

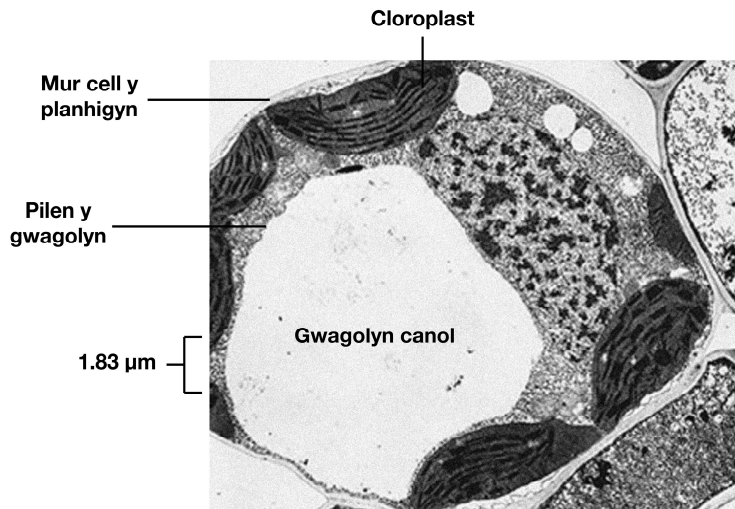
Am gyfnod o ddau biliwn o flynyddoedd dim ond bywyd ungell syml, a elwir yn gelloedd **procariotig**, a fodolodd. Nid oeddynt, ac yn wir nid ydynt, yn meddu ar saernïaeth faterol fewnol amlwg (**cymharer Ffigyrau 3 a 4**). Er hynny, datblygodd dwy *domain* (uwch raniadau) o fywyd procariotig, sef Bacteria, enw lled gyfarwydd i ni bellach, ac Archaea, enw llai cyfarwydd ar fath o fywyd procariotig a ddarganfuwyd yn lled ddiweddar.

## 2.2 Yr Ail Chwyldro – Cynaeafu'r haul: esblygiad y peirianwaith ffotosynthetig

Er bod tystiolaeth i rai bacteria ac archaea wneud defnydd cyfyngedig o ynni'r haul, yr ail chwyldro tyngedfennol oedd esblygiad ffotosynthesis llawn i egnïo'r graddiannau o brotonau ac electronau a drafodwyd eisoes.

Yn ystod ffotosynthesis defnyddir ynni'r haul i hollti dŵr [H<sub>2</sub>O] gan gynhyrchu nwy ocsigen, sy'n dianc i'r awyr, ac yn rhyddhau electronau [e<sup>-</sup>] a phrotonau [H<sup>+</sup>] egnïol. Defnyddir yr ynni hwn trwy'r un gyfundrefn a ddisgrifiwyd yn fras yn Chwyldro 1 i droi'r ynni trydanol yn ynni cemegol. Wedyn defnyddir yr ynni cemegol i fachu nwy CO<sub>2</sub> o'r awyr i gynhyrchu siwgrau. Yr ynni cemegol yn y siwgrau hyn yw sylfaen y gadwyn fwyd sy'n cynnal bron holl fywyd ein planed. Enwir y bacteria a esblygodd y gallu i ffotosyntheseiddio yn *Seianobacteria* gan eu bod yn cynnwys cyflawnder o sylweddau gwyrdd eu lliw - sef y cloroffyl sy'n cipio ac yn adweithio â ffotonau egnïol o'r haul [7]. Felly, adeiladwyd Chwyldro 2 yn rhannol ar gefn Chwyldro 1. Gwerth nodi wrth fynd heibio fod enghreifftiau o hen drefn fiolegol gyn-ffotosynthetaidd yn bodoli hyd heddiw, megis mewn ogofâu a mwyngloddiau ger Llanrwst.

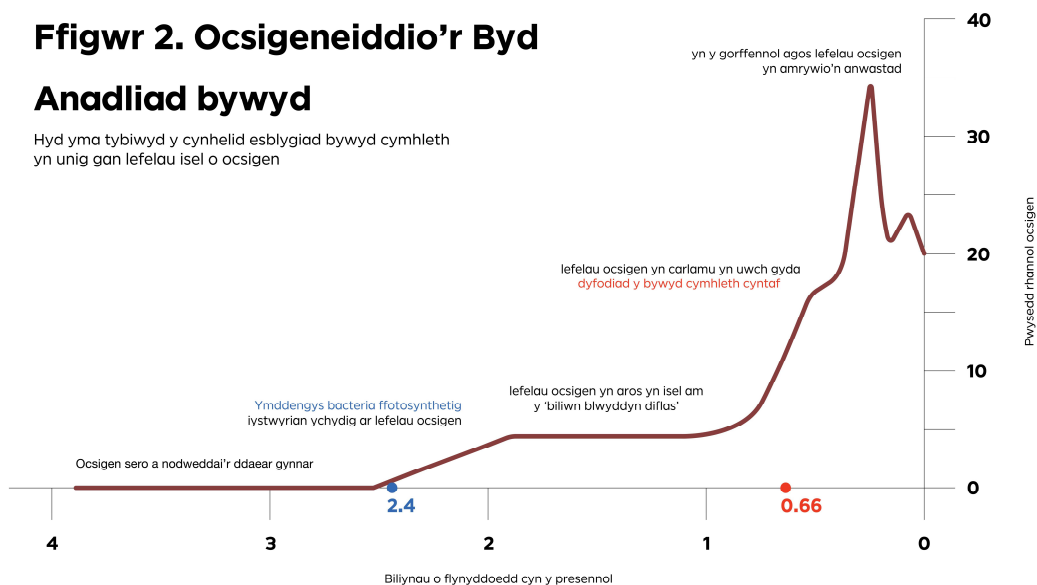
**Ffigwr 4. Cell Ewcarïotig – Planhigyn – yn dangos yr organebau mewnol gan gynnwys cloroplastau, meitochondriau, niwclews a'r gwagolyn.**



## Ffigwr 2. Ocsigeneiddio'r Byd

### Anadliad bywyd

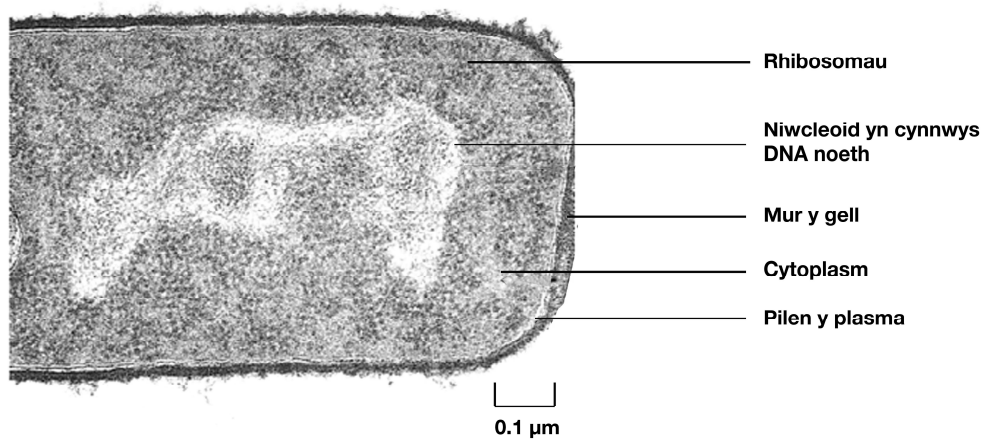
Hyd yma tybiwyd y cynhelid esblygiad bywyd cymhleth yn unig gan lefelau isel o ocsigen



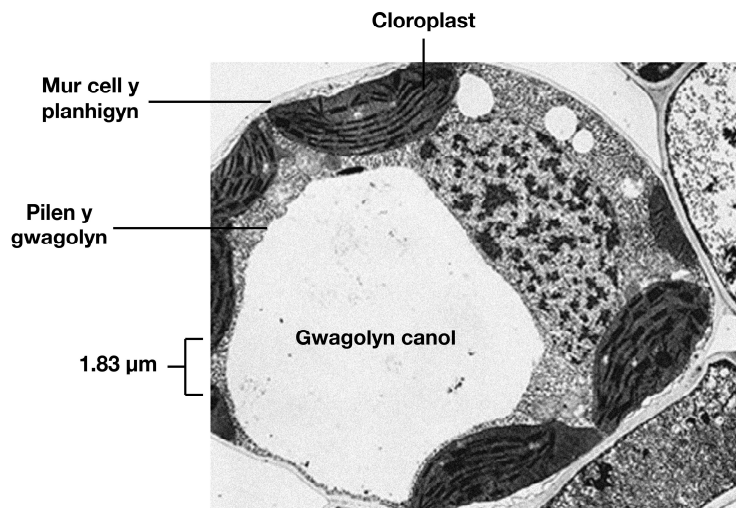
### 2.3 Y Trydydd Chwyldro - Esblygiad celloedd ewcarïotig egnïol.

Er bod y trydydd chwyldro yn anghyfarwydd i lawer, hwn oedd y cam sylfaenol a arweiniodd at fywyd amlgellog cymhleth fel y gwelir mewn planhigion ac anifeiliaid. Mae gan gelloedd ewcarïotig saernïaeth fewnol hynod gywrain (cymharer **Ffigyrau 3 a 4**). Ni cheir bodau byw amlgellog heb iddynt fod wedi eu hadeiladu o gelloedd ewcarïotig. O safbwynt bioleg y gell, mae llawer yn gyffredin nid yn unig rhwng dyn ac epa, ond rhwng dyn a banana a malwoden a ffwng. Nid oes tystiolaeth i gelloedd ewcarïotig fodoli yn y cofnod ffosil am y ddau biliwn o flynyddoedd cyntaf (**Ffigwr 1**), sef tua hanner oes hanes ein planed. Yn y cyfnod maith hwn dim ond bywyd 'syml' ungellog oedd yn bodoli. Eto yr oedd gan y celloedd 'syml' procarïotig hyn alluoedd bio-cemegol neilltuol, rhai sydd lawer y tu hwnt i alluoedd bodau amlgellog fel anifeiliaid.

**Ffigwr 3. Cell brocariotig**



**Ffigwr 4. Cell Ewcariotig – Planhigyn – yn dangos yr organebau mewnol gan gynnwys cloroplastau, meitochondriau, niwclews a'r gwagolyn.**



Beth felly a esgorodd ar gelloedd ewcariotig a'r cymhlethdod materol a ddaeth yn eu sgil? Dengys tystiolaeth enetegol a biocemegol ddiawys mai mewn uniad **symbiotiadd** rhwng dwy gell brocariotig — un yn facteria a'r llall yn archaea — y ffurfiwyd y gell ewcariotig [6]. Hyd y gwyddom, digwyddodd yr uniad hwn ond unwaith mewn hanes a hynny oddeut 1.8 biliwn o fynyddoedd yn ôl. Oherwydd gofod cyfyngedig yr erthygl rhaid hepgor trafod anferthedd a chymhlethdod yr uniad tyngedfennol hwn, ond gellir nodi rhai ffeithiau arwyddocaol. Yn dilyn traflynacu'r 'bacteriwm' gan y 'archaea', esblygodd y bacteria mewnol dros amser i fod yn **feitocondria**. Mae pobl yn gyfarwydd â meitocondria fel y pwerdai mewn celloedd sydd hefyd yn meddu ar ychydig o DNA oherwydd y drafodaeth ddiweddar am blant tri rhiant. O'r fam yn unig yr etifeddir y meitrocondria ac mae'r darganfyddiad hwn yn eithriadol bwysig i olrhain y camau yn esblygiad dynoliaeth a'r ddamcaniaeth ynghylch yr Efa wreiddiol! Yn dyngedfennol, o ganlyniad i'w draflynacu, collodd y bacteriwm bron y cyfan o'i DNA wrth esblygu i fod yn meitochondrion. Yn arferol mewn celloedd procariotig defnyddir tua 80% o holl ynni'r gell i atgynhyrchu ei hun ac i egnïo prosesau darllen negesau'r DNA a'u defnyddio i syntheseiddio'r prodinau angenrheidiol. Golyga hyn gyfyngiad egnïol enfawr ac ymddengys mai byw i epilio, a dim llawer mwy y mae bywyd procariotig, heb yr 'ynni sbâr' i arbrofi gyda ffurfiau gwahanol o fywyd.

**Symbiosis** felly oedd wrth wraidd esblygiad celloedd ewcariotig a chynhwysai'r rhain niwclews iawn yn ogystal â chromosomau a ddatblygodd **ryw**. Yn sgil rhyw cafwyd y potensial i gyfnewid ac i gymysgu genynnau'r gwryw a'r fenyw drwy feiosis a mitosis. Hyn sydd, gyda chyfraniad mwtandiau, yn creu'r deunydd crai ar gyfer detholiad naturiol a'i rym trawsnewidiol fel y datgelwyd yn namcaniaeth Darwin a Wallace. Cynigiodd Lynn Margulis [8] y ddamcaniaeth am esblygiad y gell ewcariotig yn wreiddiol, ond diweddarodd Nick Lane y ddamcaniaeth drwy danlinellu pwysigrwydd ynni yn y broses [6]. Mae'n honni fod gan bob genyn mewn cell ewcariotig hyd at 300,000 gwaith yn fwy o ynni i weithredu na'r genynnau cyfatebol mewn celloedd procariotig. Casgliad Lane, felly, yw mai'r chwyldro ynni hwn a alluogodd i fywyd ffynnu, i ledaenu ac i amlhau, gan arwain yn y diwedd at greu bodau amlgellog soffistigedig fel anifeiliaid a phlanhigion uwch.

Parhaodd y galw am homeostasis mewn celloedd ewcariotaidd unigol ac wrth gwrs mewn creaduriaid cymhleth amlgellog. Rhaid oedd datblygu systemau rheoli mwy soffistigedig i alluogi'r celloedd ewcariotig unigol gyda'u hisraniadau mewnol megis meitochondria a gwagolion (**Ffigwr 4**), i gydlynu ac i ffynnu. Rhaid hefyd gymathu a chydlynu gweithgareddau'r celloedd unigol mewn bodau amlgellog yn ogystal â sicrhau bod gweithgareddau'r uned integredig yn ymateb i'w anghenion mewnol ac i'w amgylchedd. Trosglwyddir felly wahanol negeseuon cemegol a thrydanol (e.e. nerfau) mewn bodau amlgellog. Y negeseuon hyn sy'n caniatáu iddynt synhwyro ac ymateb, ac i raddau i reoli eu hamgylchedd ar lefel y celloedd unigol yn ogystal ag ar lefel y cyfan integredig.

Rhaid tanlinellu'r goblygiadau pwysig canlynol. Yn y byd procariotig trosglwyddir DNA o un gell i'r llall yn lled hawdd; proses sy'n cyflymu addasiad microbau i wrthsefyll gwrthfotigau, er nad yw'n tueddu at ddetholiad Darwiniaidd. Nid arweiniodd chwaith at greu amlgellogrwydd dros gyfnod o biliynau o flynyddoedd. Yn y byd ewcariotig arweiniodd esblygiad Darwin/Wallacaidd at greu math newydd o gystadleuaeth, y gystadleuaeth ffyrnig sy'n hawlio'r dychymyg poblogaidd, "nature red in tooth and claw". Ond ni ddylid anghofio



pwysigrwydd hanfodol cydweithio a symbiosis yn esblygiad a pharhad y drefn ewcariotig a hefyd yn y cydweithio rhwng celloedd sy'n nodweddu amlgellogrwydd.

Er i'r celloedd ewcariotig cyntaf ymddangos oddeutu 1.8 biliwn o flynyddoedd yn ôl, araf iawn oedd ymlediad y newidiadau mawr a ddaeth yn eu sgil, gan gynnwys amlgellogrwydd. Bu sawl cyfnod o drai a llanw yn fiolegol a daeryddol dros y milenia, a wynebwyd rhai argyfyngau enfawr megis y Cyfnod Pelen Eira [*SnowballEarth*] (**Ffigwr 2**). Yn yr Oes Gambriaidd, oddeutu 540 miliwn o flynyddoedd yn ôl, gwelir yn y cofnod ffosil olion rai o ragflaenwyr cyntefig y rhywogaethau sy'n bodoli heddiw. Digwyddodd cam symbiotaid arall eithriadol bwysig oddeutu 440 miliwn. Ceir tystiolaeth i rai celloedd ewcariotig draflyncu celloedd seianobacteria [cyanobacteria] i greu planhigion syml (algae) ac yn ddiweddarach rai amlgellog (**Ffigwr 4**). Y mesurau hyn a alluogodd i blanhigion uwch gychwyn coloneiddio tiroedd sych y Ddaear.

Yn y cofnod ffosil ceir tystiolaeth bod o leiaf pum difodiant trychinebus o fywyd wedi digwydd ar ein planed. Digwyddodd y mwyaf dinistriol ohonynt oll yn yr Oes Bermaidd, er i'r mwyaf adnabyddus ddigwydd ar ddiwedd yr Oes Gretasaidd gyda difflaniad y Dinosoriaid. Rhwng y pum trychineb diflannodd dros 99% o'r holl rywogaethau a fu erioed ar y blaned. Pendiliodd y Ddaear rhwng cyfnodau eithriadol boeth a rhai hynod oer, ac yn ystod y gwahanol Gyfnodau Daearegol bu newidiadau sylweddol yn lefelau'r ocsigen yn yr awyr cyn iddo gyrraedd y lefel bresennol (**Ffigwr 2**). Ffurfiwyd creigiau gwaddodol amrywiol eu cyfansoddiad o galch i siâl ac echrydwyd creigiau eraill mewn cynyrfiadau ffrwydrol folcanig. Yn araf erydwyd y pinaclau yn wastadeddau ac yn ddyffrynnoedd. Crwydrodd y platiau tectonig ar hyd wyneb y blaned gan ddfirodi rhai cyfandiroedd cyfan a chodi eraill yn eu lle. Cafwyd cyfresi o oesoedd rhewlifol ac, o ganlyniad, newidiodd lefel y môr ddegau o fetrau. Ond er gwaetha'r holl amrywiol rwystrau llwyddodd bywyd i addasu ac i oresgyn, i amlhau ac i ddatblygu mathau mwy cymhleth o fywyd, a hyn oll yn ategu pŵer ynni'r haul a detholiad naturiol Wallace a Darwin. Drwy'r holl gyfnodau parhaodd y cylchrediadau geocemegol angenrheidiol o nitrogen, carbon, ocsigen a sylffwr. Yr oedd y rhain yn hanfodol er mwyn cynnal bywyd.

Ar ôl y trydydd chwyldro a thros gyfnod o un biliwn a hanner o flynyddoedd, esblygodd bywyd ar ein Daear i ymdebygu i'r cyfundrefnau bywydegol ac ecolegol yr ydym yn lled gyfarwydd â hwy heddiw er bod hynny, yn anffodus, yn fwy drwy ffilmiau a theledu na thrwy brofiad personol.

#### 2.4. Y Pedwerydd Chwyldro - Gallu nid grym - dyfodiad yr Homo cyntefig.

Oddeutu chwe deg miliwn o flynyddoedd yn ôl, ymddangosodd ffosilau a fyddai'n gynseiliau i deulu amrywiol y primatiaid, gan gynnwys y llinach a arweiniodd at y primat 'doeth', sef *Homo sapiens*. Ond oddeutu **dwy filiwn** o flynyddoedd yn ôl yn unig y daeth newid tyngedfennol yn y Pedwerydd Chwyldro. Er i'r chwyldro hwn ymddangos yn dila ar y cychwyn, ymhen amser newidiodd hwn gwrs a chydbwysedd ein byd mewn ffyrdd nas gwelwyd yn y pedwar biliwn o flynyddoedd blaenorol.

Yn ôl damcaniaeth Richard Wrangham [9] y cam tyngedfennol ar y llwybr esblygiadol hwn oedd datblygiad coginio, neu yn fwy manwl gywir, y gallu i ddefnyddio a rheoli ynni tân i

goginio bwyd. Drwy wneud hynny ychwanegwyd yn sylweddol at dreuliant y bwyd a'r ynni a'r maeth a oedd ynddo. Buddsoddwyd yr ynni ychwanegol hwn mewn datblygu ymennydd mwy o ran ei faint, ei gymhlethdod a'i allu. Mae Wrangham yn cysylltu'r cam hwn ag ymddangosiad *Homo erectus* yn y cofnod ffosil oddeutu 1.8 miliwn o flynyddoedd yn ôl.

Mae Wrangham, a gwyddonwyr eraill, megis Herculano-Houzel [10] a Diamond [11], yn cyflwyno'r ffeithiau canlynol. Buddsoddir 25% o ynni dynol yn yr ymennydd, sy'n fuddsoddiad sylweddol fwy na'r 8-10 % a berthyn i anifeiliaid eraill. I ddeall hyn yn nhermau ein bwydlen heddiw, mae'n cyfateb i fuddsoddiad o tua 500 cilocalori y person y dydd o'r 2,000 gCal sy'n angenrheidiol i fywyd dynol.

Mae tystiolaeth ddietegol gan anthropolegwyr yn awgrymu oni choginid bwyd ni allai'r drefn gyntefig o hela gyfrannu digon o galoriau i gynnal ymennydd dyn sylweddol ei faint, yn arbennig yn ystod cyfnodau llwm. Byddai bwyta cawd amrwd o gymorth, ond heb ei goginio anodd iawn fyddai ei dreulio a'i fwyta. Adlewyrchir hyn yn ffurf gyntefig yr hominidau cynnar oedd â phenglogau enfawr, ymennydd bychan a dannedd a safnau cydnerth. Awgryma Herculano-Houzel [10] y buasai bwydlen gyfyngedig yr hominidau cynharaf o fyw drwy "hela/hel", gan roi blaenoriaeth i oroesi ac atgynhyrchu, ond yn caniatáu i ymennydd o tua 30,000 biliwn niwron ddatblygu. Mewn cymhariaeth, awgryma y byddai gan *Homo habilis*, (cyn-ddyn cynnar 2.5 i 2 filiwn blynyddoedd yn ôl yn llinach *Homo erectus*), ymennydd o tua 40-50 biliwn niwron. Byddai gan yr ymennydd dynol heddiw oddeutu 90 biliwn niwron. O ganlyniad i'r buddsoddiad ynni yng nghelloedd yr ymennydd ac yn y trosglwyddiadau trydanol sy'n egnïo ein 'meddyliau', mae'r ymennydd dynol yn caniatáu i tua 100 triliwn (sef miliwn miliwn) o gysylltiadau synaptig ddigwydd rhwng y niwronau. Mae maint a chymhlethdod y 'tynlapio' yn yr adeiladwaith yn nodweddiadol unigryw o'r hil ddynol. Golyga hyn fod yn rhaid wrth fuddsoddiad sylweddol o ynni i fwydo'r peirianwaith ymennyddol -buddsoddiad sydd wedi talu ar ei ganfed!

Yn ôl y ddamcaniaeth, o fuddsoddi ynni mewn ymennydd gyda galluoedd amgenach ychwanegwyd at allu'r hominidau cynnar i sicrhau mwy o fwyd, a thrwy hynny lansio rhywogaeth *Homo* ar lwybr esblygiadol effeithiol a chyffrous. Ar drywydd esblygiadol gwahanol, parhaodd yr epaod i fwyta bwydydd amrwd gan fuddsoddi'r ynni mewn nerth ac, o reidrwydd, mewn datblygu safnau a boliau mawr i gnoi a threulio'r bwyd. Awgryma data cymharol Herculano-Houzel mai'r epaod yw'r eithriadau ac iddynt ddilyn llwybr a oedd yn *dead end* esblygiadol. Yn ôl ei gwaith mae'r genws *Homo* wedi ymestyn ar y llwybr a ragfynegir mewn ymennydd mwncïod llai.

Yn achos *Homo*, ei allu i reoli tân, sef troi ynni cemegol yn wres, a'i dysgodd i goginio ei fwyd, ac yn ddjarwybod iddo i ryddhau hyd at ddwywaith yn fwy o ynni mewn calorïau nag y byddai wedi'i dderbyn o fwyta bwyd amrwd. Y buddsoddiad chwyldroadol hwn o ynni a arweiniodd, gam wrth gam a thros tua miliwn a hanner o flynyddoedd, at allu deallusol yr hil ddynol, ac yn y diwedd at ei oruchafiaeth ar blaned y Ddaear. Mae'r dystiolaeth am ymddygiad epaod a dyn cyntefig yn awgrymu cystadleuaeth frwd am fwyd a chymar. O anghenraid yr oedd cydweithio o fewn y teulu a'r llwyth hefyd yn anhepgorol bwysig i sicrhau bwyd. Roedd hefyd bwysau ar i ddynion a merched gydweithio a rhannu dyletswyddau i sicrhau goroesiad y teulu.

Mewn cymhariaeth â'r chwyldroadau biolegol a daearyddol blaenorol, cyfnod byr o amser o 1.5 miliwn o flynyddoedd sy'n gwahanu *H. Erectus* oddi wrth ein llinach ni, sef *H. sapiens*[12]. Ymddengys i'r llwybr esblygiadol o'r hominidau cynnar i *H. sapiens* fod yn droellog a chymhleth, ac yn eithriadol gystadleuol ar brydiau. Ceir tystiolaeth gadarn i'r dyn modern ymddangos ar diroedd safana dwyrain Affrica oddeutu 200,000 o flynyddoedd yn ôl (Damcaniaeth Efa a'i meitocondria), er bod tystiolaeth ddiweddar o Foroco yn awgrymu bod llinach *H. sapiens* yn ymestyn yn ôl i gyfnod cynharach rhwng 250,000 a 350,000 o flynyddoedd yn ôl. Yn rhyfeddol, ymddengys i'n cefndryd agos iawn, sef dynion Neandertal, Denisofian a Fflorensia gyd-fyw ac i raddau baru gyda ni cyn iddynt ddarfod a bod tua 40,000 o flynyddoedd yn ôl. Ymddengys i'n hil gynnar lwyddo i oroesi mewn byd o rwystrau cyntefig yn cynnwys anifeiliaid rheibus a hominidau cystadleuol.

Ynni'r haul a ffotosynthesis oedd yn cyflenwi'r ynni a oedd mewn bwyd a'r tanwydd i'w goginio a thrwy hynny gynnal eu bywyd. Ond, yn y Pedwerydd Chwyldro, yn ogystal â throsi ynni'r haul yn gelloedd ac yn greaduriaid materol cymhleth a soffistigedig, gwelir cnewyllyn y broses o droi ynni yn waith i greu celfi ac addurniadau ac i ysgogi cymhlethdod cymdeithasol.

## 2.5. Y Pumed Chwyldro – Amaethu i sicrhau mwy o fwyd

Ar ôl ei ymddangosiad parhaodd *H. sapiens* i fyw am o leiaf 180,000 o flynyddoedd yn y drefn 'hel/hela/coginio' a hynny mewn grwpiau bach gwasgaredig [11][13]. Gyda diflaniad rhewlifau olaf Oes yr Iâ oddeutu 12,000 CC cychwynnodd y Chwyldro Amaethyddol mewn ardaloedd addas eu bywydeg, eu hinsawdd a'u priddoedd. Ar fryniau yn y Dwyrain Canol, oddeutu 9,000 o flynyddoedd yn ôl, gwelwyd y datblygiadau cynharaf o gyfnewid planhigion. Digwyddodd cyfnewidiadau cyffelyb ond annibynnol oddeutu'r un amser mewn nifer o ranbarthau eraill yn y byd – yn Ne a Chanolbarth America, yn Affrica, ac yn Tsieina. Mewn ardaloedd tra gwahanol meistrolwyd technegau tyfu a bridio planhigion a'u trosi o'u ffurfiau cyntefig yn gnydau ac yn fwydydd safonol megis gwenith, haidd, corn, tatws a reis, sy'n parhau i gynnal ein cymdeithas hyd heddiw. Ar gyfandir Ewrasia llwyddwyd i ddefni anifeiliaid fel defaid, geifr, moch a gwartheg a'u hychwanegu at y fwydlen drwy eu cig a'u llaeth. Ychydig yn ddiweddarach, oddeutu 5,000 o flynyddoedd yn ôl, dofwyd cyfres o anifeiliaid pwn a gwaith megis ych, camelod a cheffylau a'u defnyddio i lafurio dros eu meistri dynol.

Llwyddodd y chwyldro amaethyddol i grynhoi mwy o ynni ffotosynthetig i greu cyflenwadau mwy parhaol o fwyd at ddefnydd dyn. Ysgogodd hyn ar gymhlethdodau materol a diwylliannol newydd. Chwyddodd y boblogaeth yn sylweddol gan arwain at sefydlu cymdeithasau trefol sefydlog mewn rhai ardaloedd breintiedig, megis yn yr Aifft, Gorllewin Asia, Tsieina, a De a Chanolbarth America. Bellach yr oedd angen gweinyddu ac amddiffyn yr adnoddau. Datblygodd sgiliau cyfrif ac ysgrifennu. Cyfoethogwyd yr economi drwy gynnal crefftau arbenigol a masnach. Datblygodd yr angen i weinyddu buddiannau'r gymdeithas drwy gyfraith a threfn a llywodraeth gan arwain at greu rhaniadau hierarchaidd yn y gymdeithas. Gwelwyd twf mewn credoau a oedd, ar yr un llaw, yn cynnig cysur i'r difreintiedig ac, ar y llall, yn cyfiawnhau awdurdod a golud y brenhinoedd a'u cynghreiriad. Datblygodd grym milwrol i amddiffyn adnoddau'r cymdeithasau sefydlog ac i geisio cipio

adnoddau cymdeithasau cyfagos. Datblygodd mathau ychwanegol o gystadleuaeth a rheini, i raddau helaeth, yn gystadleuaeth am ynni.

Rydym yn dystion i'r gwyched materol a ddeilliodd o waith corfforol diflino'r dynion a'r merched ac uchelgais yr arweinwyr a amlygir yn eu palasau, eu temlau a'u beddrodau ysblennydd. Tystiant i gystadleuaeth a gorthrwm yn ogystal ag i'w gallu i sefydlu cydymdrechion cymdeithasol. Profodd lleiafrif bychan olud ond nid oedd bwydlen a maeth y bobl gyffredin yn llawer gwell na'u cyndeidiau yr helwyr ac roeddynt efallai yn waeth os rhywbeth [13]. Er ymddengys i'r gyfundrefn newydd ddibynnu ar waith didostur y mwyafrif tybiaf i'r drefn drefol gynnig cyfleoedd am well bywyd i amryw, a phosibiliadau cymdeithasol llawnach. Wrth gwrs, parhaodd yr hen fywyd dros ran helaeth o'r byd; gan barhau hyd at ein hoes ni mewn ardaloedd diarffordd fel Papua Guinea Newydd a Fforestydd yr Amason.

Ni ellir gwadu i lwyddiant y chwyldro amaethyddol yn rhwydo mwy o ynni ffotosynthetig newid ffawd dynoliaeth ac iddo ysgogi datblygiad dysg, llenyddiaeth a chelfyddyd. Yr oedd i'r chwyldro ei wendidau yn ogystal â'i ragoriaethau. Un ffaeidd amlwg oedd y distryw a achosodd amaeth i ecoleg y byd drwy ddymchwel fforestydd, troi'r peithiau yn borfeydd a sychu gwlypdroedd a difa anifeiliaid rheibus o'u cynefinoedd naturiol.

## 2.6 Y Chweched Chwyldro - Ynni nerthol a phŵer i greu diwydiant

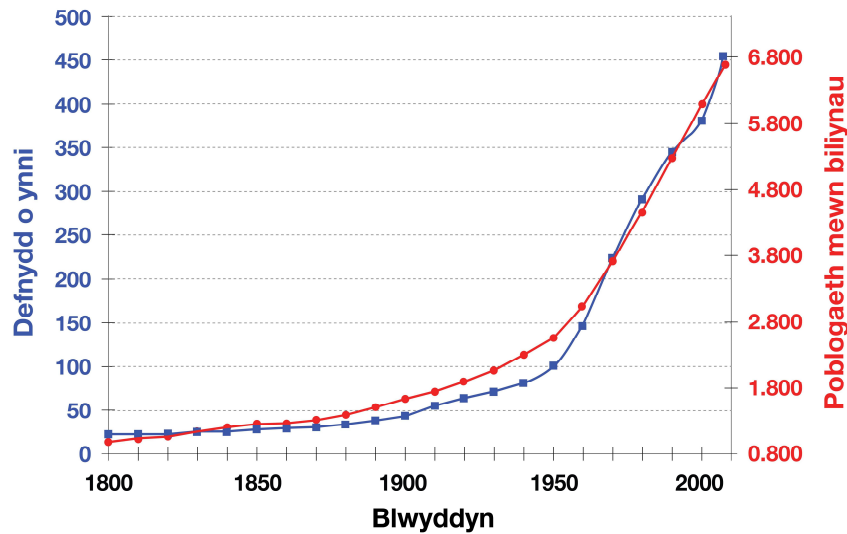
Ymledodd y drefn amaethyddol drwy Ewrop yn weddol gyflym gan gyrraedd Cymru oddeutu 5,000 o flynyddoedd yn ôl. Gwelwyd datblygiadau araf ac anghyson mewn technolegau cynhyrchu ynni, megis y gallu i ddefnyddio ynni'r gwynt a llif dŵr i yrru melinau a llongau i hwylio'r cefnforoedd. Defnyddiwyd peth glo i gynhesu tai ac, yn Tsieina, i gynhyrchu haearn. Drwyddi draw, ynni ffotosynthetig cyfoes oedd yn gyrru cymdeithas hyd nes gyn lleied â thri chan mlynedd yn ôl [14]. Ond gyda chwilfrydedd, dyfeisgarwch ac ariangarwch yn cael eu hymgorffori mewn dysg, gwyddoniaeth, technoleg a chyfalafiaeth, agorwyd y drws i chwyldro newydd sef y Chwyldro Diwydiannol.

Nid oes gofod i drafod y chwyldro yn fanwl yn yr erthygl hon ond gellir mesur ardrawiad y chwyldro yng ngeiriau'r masnachwr Matthew Bolton yn 1776. Bolton oedd noddwr James Watt a ddatblygodd yr injan stêm led effeithlon gyntaf o'i bath, ac meddai Bolton wrth James Boswell, newyddiadurwr o'r cyfnod, "I sell, Sir, what the world desires to have – power". Mae ei eiriau yn adlewyrchu uchelgais a dyfeisgarwch y cyfnod i weddnewid rheolaeth y byd drwy ddefnyddio ffynhonnell newydd o ynni. Yr ynni hwnnw oedd i'w gynhyrchu drwy losgi tanwydd ffosil, gwaddol ffotosynthesis a storiwyd yng nghrombil y ddaear ers degau o filiynau o flynyddoedd. Hyn a newidiodd gwrs y byd ac a ryddhaodd ddynoliaeth o'i ddibyniaeth ar ffotosynthesis cyfoes [14][15].

Carlamodd y chwyldro yn ei flaen gyda pheiriannau amgenach na dyfais flaengar Watts. Yn fuan dyfeisiwyd peirannau trydan, olew, disel a phetrol. Trwy losgi'r tanwydd cafwyd digonedd o ynni cyfleus at ddibenion diwydiant a thrafnidiaeth gan newid effeithiolrwydd cynhyrchu a chrebachu pellteroedd y byd. Gweddnewidiwyd masnach a hamdden o ganlyniad. Addaswyd cynlluniau dinasoedd i dderbyn trenau, a cheir yn ddiweddarach. Mae'n werth nodi yn y cyswllt Cymreig y disodlwyd glo gan olew a nwy fel y prif danwydd

ffosil, ac o ganlyniad symudodd y pŵer a'r cyfoeth o Gaerdydd a'r Rhondda i Dharhan a Doha a chyfnewidiwyd grym Protestaniaeth gyfalafol am gulni Islam Wahabaidd. Daeth cyfalafiaeth ac ariangarwch yn fodolau i'w hefelychu a chyfrannodd golud ar raddfa nas gwelwyd o'r blaen at gynnydd sylweddol yn y boblogaeth er i'r mwyafrif ohonynt aros yn dlawd. Gan ddefnyddio geiriau'r Beibl, sicrhawyd 'dra-arglwyddiaeth dyn'. Gwelwyd ymhelaethu sylweddol i'r broses o droi'r ynni newydd toreithiog yn waith ac yn bŵer a arweiniodd at greu cymhlethdodau materol a chymdeithasol newydd i ddynoliaeth(Ffigwr 5.).

Ffigwr 5. Llosgi ynni a phoblogaeth



Ystyriwn un enghraifft o ddylanwad pellgyrhaeddol llosgi tanwydd, sef mewn gyriant ceir a lorïau. Rhaid oedd buddsoddi er mwyn adeiladu ffyrdd a systemau i reoli'r cerbydau hyn a chreu isadeiledd eang i gyflenwi tanwydd ar eu cyfer ac i ddiweddarau'r cerbydau yn gyson. Cafwyd damweiniau lu a datblygodd yr angen i yswirio'r gyrwyr ac i roi triniaeth i'r anffodusion. Yr oedd y systemau yn agored i dwyll, y teiars yn llygru a'r gyriant yn cyfrannu at wenwyno byd-eang. Newidiwyd ein dulliau o fasnachu ac o gymryd ein gwyliau – bach fuasai'r galw am dai haf ym mryniau Cymru heb y car a gwahanol iawn fyddai bywydau ffermwyr mynydd. Buasai'n hawdd ychwanegu at y gadwyn uchod ac amlinellu cadwyni tebyg ar gyfer llongau, trenau ac awyrennau ac i'r holl ddyfeisiadau a ddaeth yn sgil egni'r Chwyldro Diwydiannol. Hynny yw, yn sgil yr ynni a'r dechnoleg, cododd yr angen i ddatblygu

systemau rheoli er budd yr unigolyn a'r gymdeithas ac i raddau er budd yr amgylchedd. Gellir cyffelybu systemau rheoli'r chwyldro gyda'r systemau homeostatig a esblygodd yn fiolegol gyda dyfodiad bodau amlgellog.

Yn sgil yr holl gyfnewidiadau tyfodd poblogaeth y byd o gwta biliwn yn oes Bolton i'r ffigwr presennol sy'n nesu at wyth biliwn (Ffigwr 5). Drwy'r ail chwyldro amaethyddol, a gynhelir yn rhannol gan danwydd ffosil a'r gwyddorau biolegol newydd, llwyddwyd yn groes i ddarogan Malthus i fwydo canrannau helaeth o'r boblogaeth ychwanegol, ond ysywaeth nid pawb. Roedd yr ail chwyldro amaethyddol hefyd yn dibynnu ar y grym i feddiannu tiroedd estron yn yr Amerig ac ardaloedd eraill.

I grynhoi fy nadl, mae ynni ffosil nid yn unig wedi creu twf materol ond hefyd dwf mewn cymhlethdod cymdeithasol. Mae hwn yn ganlyniad anochel i'r gallu i gyflawni mwy o waith materol ac i'r pŵer a grym a gyfyd ohono. O ganlyniad, cododd yr angen i greu trefn, rheolaeth a disgyblaeth (homeostasis). Galluogodd perchnogion y pŵer, sef gwladwriaethau a chwmnïau'r gorllewin, i wladychu ac i ddominyddu gweddill y byd am ddegawdau. Nodir, wrth fynd heibio, i arfau milwrol ddatblygu yn ddull o gyfeirio ynni a phŵer at ddibenion rheoli a gorfodi.

Effeithiwyd yn ddwys ar ecoleg y blaned gan achosi, mewn perthynas ag ynni, ganlyniadau niweidiol allyriadau nwy carbon deuocsid a ryddheir o losgi'r holl danwydd ffosil. O ganlyniad, newidiwyd cydbwysedd mewn-lif ac all-lif ynni'r haul sy'n golygu fod mwy a mwy o'i wres yn cronni yn y moroedd a'r awyr. Y ffenomen hon sy'n arwain at gynhesu byd eang ac at y cyfnewidiadau dwys yn hinsawdd y blaned. Hyn sydd wrth wraidd y Seithfed Chwyldro.

### **3. Dadansoddi'r Elfennau a'r Patrymau:**

Cyn ystyried y seithfed chwyldro ceisiaf grynhoi fy nghasgliadau ynghylch nodweddion y Chwe Chwyldro blaenorol a luniodd ein planed dros bedwar biliwn o flynyddoedd. Rwyf yn cydnabod, wrth gwrs, nad yw fy nadansoddiad yn esbonio rhai o'r digwyddiadau pwysig a luniodd ein byd, megis esblygiad siarad a syniadaeth. Er hynny, mae'n cynnig fframwaith i ddadansoddi agweddau pwysig o'n bodolaeth ar y ddaear hon.

Cymerodd y chwyldroadau unigol amser sylweddol i aeddfedu ac i ymestyn dros y blaned ac i droi ynni yn gymhlethdod materol a chymdeithasol. Ond yn drawiadol byrhaodd y cyfnodau rhwng y chwyldroadau o'r cannoedd o filiynau o flynyddoedd dechreuol i gwta ddwy ganrif yn ein cyfnod presennol. O ganlyniad, cyflymwyd y newidiadau yn rhyfeddol. Gwelwyd hefyd newid mawr yn natur y gystadleuaeth fiolegol - o rannu DNA yn y byd procarïotig, i ddetholiad naturiol Darwinaidd sy'n ddibynnol ar ryw a goroesiad y genynnau mwyaf atebol yn y byd ewcarïotig. Yng nghyfnod y Pedwerydd Chwyldro, er i rywogaeth *Homo* wynebu cystadleuaeth Ddarwinaidd, llwyddodd i oroesi drwy ddatblygu ei alluoedd i resymu sut i gyrraedd ei amcanion. Gwnaeth hynny wrth goginio ei fwyd neu berffeithio ei dechnoleg llunio arfau, gan drosglwyddo'r wybodaeth i'w dylwyth o un genhedlaeth i'r llall ar lafar neu drwy esiampl. Detholiad o syniadaeth, neu "memes", i ddefnyddio terminoleg Dawkins, a drosglwyddwyd. Gyda datblygiad cymdeithasau trefol yn dilyn y Chwyldro Amaeth dwysaodd y gystadleuaeth gymdeithasol rhwng y dinasoedd a rhwng eu

harweinwyr. Gwelwyd ymerodraethau milwriaethus yn cystadlu am adnoddau, pŵer a rhwysg drwy feddiannu'r tiroedd gorau [hynny yw, adnoddau ychwanegol o ynni ffotosynthetig] a gormesu poblogaethau [hynny yw, sicrhau gwaith dynol i ddibenion arbennig]. Yn sgil y Chwyldro Diwydiannol breiniwyd cystadleuaeth gyfalafol mewn gwleidyddiaeth, busnes a diwydiant yn enw Darwiniaeth Gymdeithasol. Parhaodd rheolaeth ar dir a chynnyrch ffotosynthetig yn bwysig a thyfodd cystadleuaeth ddiwylliannol i fod yn elfen gynyddol bwysig. Gwelir fel y mae dylanwadau grym meddal [*soft power*] Hollywood a Big Mac wedi swyno a hudo meddylfryd y byd. Ymddengys felly i'r elfennau cystadleuol newid a dwysáu wrth i brosesau'r byd gyflymu.

Eto mae'n rhaid tanlinellu pwysigrwydd yr elfen o gydweithio a chydlynu fel rhan annatod o'r holl chwyldroadau. Dyna sy'n nodweddu'r uno symbiotaidd i greu meitocondria a chloroplastau ewcariotig; y cydweithio soffistigedig rhwng celloedd bodau amlgellog; a gweithgaredd ymenyddol dyn a'i allu i resymu ynghylch ei fywyd materol ac ysbrydol.

Elfen nodweddiadol o'r holl chwyldroadau hyn yw esblygiad cyfochrog y systemau rheoli. Nodais ar y cychwyn bwysigrwydd y peirianwaith homeostatig sy'n galluogi celloedd syml i oroesi ac i'w cynnal allan o gydbwysedd ffisegol a chemegol â'u hamgylchedd. Datblygodd y systemau hyn ar y cyd ag esblygiad bodau mwy cymhleth, amlgellog, hyd at ddyfodiad *Homo sapiens*. Yn ôl Antonio Damasio[16], wrth ddilyn a datblygu teithi meddwl *Spinosa*, mae'n deg ystyried fod ein hemosiynau a'n teimladau ni fodau dynol yn estyniadau o'r peirianwaith homeostatig. Ac, o ystyried ymhellach, gellir dadlau fod yr holl reolau a chyfuniadau a ddatblygodd yn sgil cymhlethdodau cymdeithasol y chwyldroadau amaethyddol a diwydiannol hefyd yn dilyn yr un trywydd. Pan gollir rheolaeth homeostatig ar dwf a chydweithrediad celloedd gelwir y diffyg yn ganocr. Yn anffodus, pan gollir rheolaeth ar fyd masnach neu wleidyddiaeth y canlyniad yn aml yw gormes a rhyfeloedd, ond yn aml gelwir yr unigolion sy'n gyfrifol yn arwyr.

Mae tair elfen arall yn berthnasol i'm dadansoddiad. Yn gyntaf, er i ddynoliaeth ffynnu yn y Chwyldro Diwydiannol ar gefn ynni ffosil ni leihaodd ein dibyniaeth ar ynni ffotosynthetig. Dengys gwaith Imhoff a Bunouna [17] fod dyn wedi hawlio, ar gyfartaledd, tua 20% o gynnyrch ffotosynthetig y blaned ar gyfer ei ddibenion personol erbyn diwedd y ganrif ddiwethaf. Yn Ewrop roedd y ffigur yn 70% ac yn Ne Asia yn 80%, er ei fod yn is mewn ardaloedd llai poblog neu lle nad oedd diwydiannau trwm. Gyda'r twf mewn cyfoeth ac ym mhoblogaeth y byd o tua 6 biliwn pan gynhaliwyd yr ymchwil gyntaf gryn ugain mlynedd yn ôl i dros 7.5 biliwn erbyn heddiw, mae'r ddibyniaeth ar ynni ffotosynthetig wedi chwyddo i raddau sy'n peryglu adnoddau bywyd holl greaduriaid eraill y byd.

Yn ail, mae cymhariaeth o botensial datblygiadol y tri chwyldro bywydegol yn awgrymu bod nenfwd i'r cymhlethdod materol a ganiateir ar bob gris. Hynny yw, roedd bywyd procarotig cyn ac ar ôl datblygiad ffotosynthesis, ac wedyn bywyd yn dilyn esblygiad celloedd ewcariotig, yn analluog i ddatblygu y tu hwnt i lefel arbennig. Felly hefyd yr oedd cyfyngiad ar ddatblygiad materol a chymdeithasol cymdeithasau "hel/helwyr" cyn iddynt ddysgu sut i reoli tân, coginio ac ymelwa o'i fanteision. Awgrymwyd gan Ian Morris [18] mewn damcaniaeth tra diddorol fod cyfyngiadau tebyg ynghlwm wrth y Chwyldro Amaethyddol. Yn ôl ei ddadansoddiad nid oedd modd i'r gyfundrefn amaethyddol ddatblygu i gynnal mwy na'r llwyddiant economaidd a chymdeithasol a gyrhaeddwyd gan Ymerodraeth Rhufain yn y

gorllewin ac Ymerodraeth Song yn Tsieina. O gyplysu'r dadansoddiadau hyn ceir awgrym cryf fod i bob un o'r chwe chwyldro ynni ei nenfwd ei hun o ran ei gyrhaeddiad a'i dwf.

Yn drydydd, er i mi ganolbwyntio ar ynni, gwaith a phŵer, a'r angen am reolaeth yn eu sgil, mae'n rhaid hefyd gydnabod a thanlinellu pwysigrwydd llif gwybodaeth. Perthyn trosglwyddiad gwybodaeth i bob un o'r chwyldroadau - fe'i gwelir yn nhrosglwyddiad y cod genynnol a'r gallu i gynaeafu ynni'r haul a'r fframwaith ewcariotig. Gwelir trosglwyddiad gwybodaeth bersonol yn dilyn esblygiad ymenyddol *Homo*. Ar y cychwyn cynhelid y gadwyn gan y genhedlaeth hŷn yn trosglwyddo gwybodaeth i'r ieuanc drwy esiempl neu ar lafar, ond yn dilyn y Chwyldro Amaethyddol atgyfnerthwyd y trosglwyddiad drwy'r gallu i ysgrifennu a chyfrif. Bellach, ac yn syfrdanol o gyflym, daeth byd yr algoriddmau, y cyfrifiaduron, y ffonau symudol a throsglwyddiad electronig i dra-arglwyddiaethu ar brosesau cyfnewid gwybodaeth gan glymu'r Ddinas yn Llundain i'r un gyfundrefn â'r pentref mwyaf diarffordd yn y Trydydd Byd.

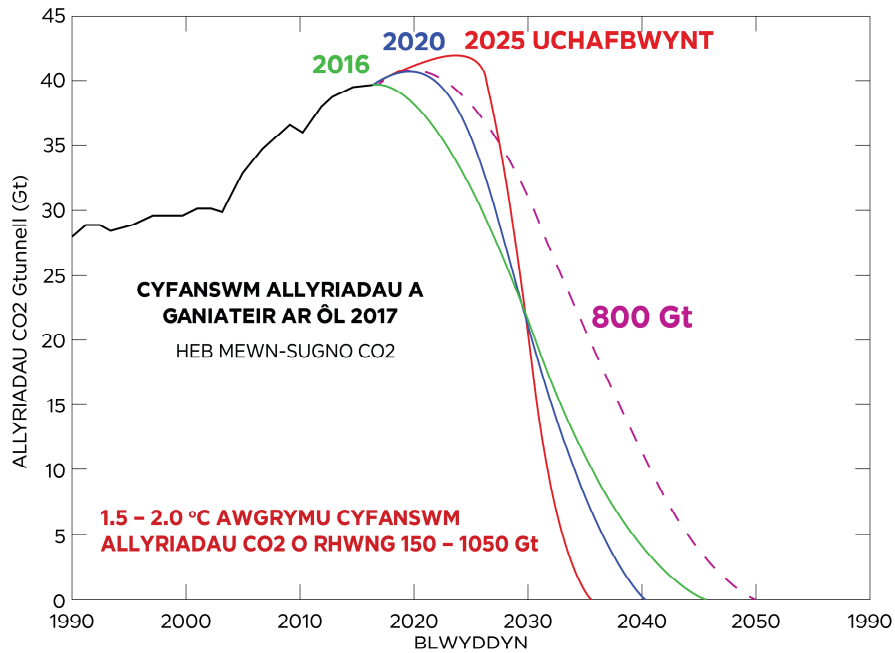
Ceisais osgoi cyflwyno gormodedd o ystadegau yn yr ysgrif hon ond, yn olaf, rhaid tanlinellu maint y newid yn ein defnydd o ynni a ddaeth yn sgil y Chwyldro Diwydiannol. I gynnal y corff dynol defnyddir isafswm o 2000 cilocalori y dydd, gydag oddeutu eu chwarter yn cael eu neilltuo ar gyfer yr ymenydd. I gynhyrchu a chyflenwi'r mewnbwn hwn o gilocalorïau defnyddir tua deg gwaith mwy o ynni o'r haul ac o ynni ffosil. Ond i gynnal safon byw presennol Cymro neu Brydeiniwr mae'n rhaid wrth tua 240,000 o gilocalorïau y dydd [19]. Canlyniad y gofyn ychwanegol am yr ynni hwn yw cynhyrchu allyriadau enfawr a pheryglus o nwyon tŷ gwyr.

#### **4. Y Presennol Heriol a'r Seithfed Chwyldro:**

Hyderaf fod pawb bellach yn ymwybodol o'r dystiolaeth bendant a diymwad ynghylch newid hinsawdd anthropogenaidd a'i berthynas â llosgi tanwydd ffosil [20]. Nid wyf am drafod y dystiolaeth wyddonol na'r atebion technolegol i'r broblem ond yn hytrach ceisaf ystyried rhai o'r goblygiadau a'r casgliadau sy'n deillio o'r ddamcaniaeth a'r dadansoddiadau blaenorol.

**Ffigwr 6. Allyriadau a ganiateir o CO<sub>2</sub> os am osgoi codiad tymheredd o fwy na 2°C**





Llinellau gwyrdd, glas, coch yn seiliedig ar weddill o 600 Gt CO<sub>2</sub> (heb gyfrif allyriadau negyddol [mewn-sugno])

Llinell borffor yn seiliedig ar weddill o 800 Gt CO<sub>2</sub>

Amcangyfrifir bod cadw at 1.5-2°C yn golygu cyllideb CO<sub>2</sub> o 150-1050 biliwn tunnell(Gt) [20] [21]

Yn gyntaf trafodaf gyflymder a chymhlethdod y newidiadau. Yn y Seithfed Chwyldro wynebwn her gwbl newydd. Yng Nghytundeb Paris yn Rhagfyr 2015 cytunodd 195 o wledydd y byd y dylid atal cynnydd cyfartalog o 2°C gradd yn nhymeredd ein byd gan ymdrechu i gadw'r cynnydd yn 1.5° C gradd. Yn ystod yr El Niño diweddaf yn 2016 roedd y tymheredd eisoes 1.2°C gradd yn uwch nag yn Oes Victoria sef ar gychwyn cyfnod ymlediad y Chwyldro Diwydiannol drwy'r byd.

Fel y gwelir yn **Ffigwr 6** gwta ugain mlynedd sydd gennym i gyflawni uchelgais Paris a gofynion y Seithfed Chwyldro; sef mabwysiadu ffyrdd newydd di-garbon o gynhyrchu ynni a llwyddo i reoli tymheredd y byd heb wynebu trychinebau apocalyptaidd yn y dyfodol. Er bod yr her hon a'r brys yn amlwg, awgryma fy namcaniaeth fod agweddau eraill mwy pellgyrhaeddol i'r sefyllfa.

Beth fyddai canlyniadau datblygu digonedd o ynni rhad, di-garbon yn y dyfodol? Oni fuasai hyn, yn ôl tystiolaeth y chwe chwyldro blaenorol, yn cyflymu'r holl brosesau o ychwanegu at gymhlethdodau materol a chymdeithasol ein bodolaeth ymhellach? Un canlyniad anochel fyddai wynebu diflaniad llawer o'r hyn sy'n weddill o'r byd naturiol. Canlyniad arall fyddai ychwanegu at y pwysau cystadleuol sydd ar ddynoliaeth. Er enghraifft, mae ein cyfundrefnau economaidd eisoes yn dibynnu ar dwf esbonyddol blynyddol o 2 i 5% i'w GDP [22]. Mae disgwyl i faint yr economi ddyblu bob 14 i 20 mlynedd ond mae eisoes dystiolaeth o'r pwysau a'r tyndra seicolegolcynyddol ar unigolion a chymdeithasau sy'n dilyn o'r herwydd.

Rhaid gofyn beth fyddai effaith naid arall yng nghyflymdra a chystadleuaeth bywyd ar ddynoliaeth a'n lles? Pregethir cenadwri cystadleuaeth gan ein gwleidyddion ond prin y cydnabyddir fod gan bob cystadleuaeth ei gollwyr yn ogystal â'i enillwyr.

Rhaid cofio fod gan gyfundrefnau cymhleth eu nodweddion arbennig eu hunain a ymgorfforir yn namcaniaeth Caos. Ystyr hyn yw ei bod yn bosibl i gryniadau bychan lleol ysgogi cyfnewidiadau anferthol, annisgwyl mewn mannau pellennig yn y gyfundrefn. Gallasai peryglon anrhagweladwy sy'n deillio o gymhlethdod ychwanegu at ansadrwydd a pheryglon ein byd yn gymdeithasol, yn wleidyddol ac yn economaidd.

Yn ail, beth yw neges cydweithio a rheolaeth ar gyfer y Seithfed Chwyldro? Ni ellir gwadu i gystadleuaeth, boed yn Ddarwiniaeth fiolegol neu yn gyfalafiaeth, esgor ar ddatblygiadau trawiadol. Ond byddai'n eithriadol ffôl anwybyddu'r gwersi a ddysgwyd am gydweithio a rheolaeth homeostatig. Yn y Seithfed Chwyldro wyneba'r byd her gwbl newydd sef sut i ymdrin yn deg ag adnoddau cyffredin [*public goods*] megis yr awyr a'r hinsawdd. Ni chyfyngir effeithiau cynhesu byd eang i un wlad ac felly rhaid ymateb fel dynoliaeth unol. Nid oes prinder tanwydd ffosil yn y byd a dengys modelau ffisegol y dylid ymatal rhag ei ddefnyddio a gadael y gyfran helaethaf ohono yng nghrombil y ddaear. Ond yr adnoddau hyn sy'n sylfaen i rai o gwmnïau mwyaf pwerus a gwerthfawr ein byd, a'u cynnyrch a rydd inni ein hawddfyd cymdeithasol. O ganlyniad, mae'r ymateb i newid hinsawdd nid yn unig yn fater technolegol gymhleth ond mae hefyd yn bygwth y gyfundrefn gyfalafol a golud unigolion tra phwerus sy'n cefnogi'r farchnad rydd, ddilyffethair. Yn anffodus, mae'r pwyslais ar anffaeledigrwydd y farchnad rydd a'r ymdrechion i leihau'r rheolau homeostatig cymdeithasol ac economaidd yn llesteirio'r ymdrechion i brysuru dyfodiad y Seithfed Chwyldro.

Dengys ymchwil anthropolegol fod grwpiau cyntefig yn cydweithio yn glos er mwyn goroesi, ond o berchnogi adnoddau ychwanegol maent yn debygol o amddiffyn eu mantais hyd yr eithaf [11]. Gwelir meddylfryd tebyg yng nghostyll y canol oesoedd, neu yn "*gated properties*" y presennol yn Ne Affrica a'r Unol Daleithiau, ac yn rhethreg rhai o wleidyddion cyfoes ein byd. Defnyddiwyd Darwiniaeth Gymdeithasol i gyfiawnhau'r cysyniad fod rhai pobloedd yn fwy teilwng na'i gilydd ac, o ganlyniad, eu bod yn haeddu adnoddau gwell na'u cyd-ddyn llai ffodus. O goleddu'r athroniaeth hon mewn perthynas â newid hinsawdd mae'n sicr o arwain at alanastra. Yn gadarnhaol mae Cytundeb Paris, er gwaethaf ei ffaeleddau, yn ymwrthod â'r feddylfryd hon ac yn derbyn fod cydweithio a rheolaeth ryngwladol yn gwbl angenrheidiol.

Er gwaethaf hyn oll mae gan y Chwe Chwyldro Ynni eu negeseuon gobeithiol. Drwy'r milenia gwelir fod llinyn aur cydweithredu a chyd-dynnu yn rhedeg trwyddynt. Sylfaen hyn oll, mi dybiaf, yw gofynion homeostatig celloedd a bodau byw, gan gynnwys *Homo sapiens* a'u cymdeithasau cymhleth. Dyfynna Domasio [16] o waith gwreiddiol Spinosa -- "*each thing as far as it can, by its power, strives to preserve in its being*" a "*the very foundation of virtue is the endeavour to preserve the individual self and happiness consists in the human capacity to preserve its self*". Dehonglir hyn, yn anffodus, fel sylfaen hunanoldeb a thrachwant, ond camdehongliad dybryd fyddai hyn o syniadau Spinosa a Domasio. Fel y nodais ystyria Domasio fod ein hymatebion emosiynol a theimladol yn binacl pyramid rheolaeth

homeostatig, a'r prif nod yw diogelu ein dynoliaeth, ein hunaniaeth a'n bodlonrwydd. Y gamp yw byw bywyd iach, dymunol a theilwng ac i wneud hynny mewn cydbwysedd homestatig sy'n mynd o lefel y gell unigol i'r person a'r gymdeithas gyflawn. Yr her greiddiol yw argyhoeddi pobl ei bod yn bosibl; yn wir, yn gwbl angenrheidiol, ymateb yn gadarnhaol ac ar fyrder i her y Seithfed Chwyldro er ein lles ein hunan, ein teuluoedd a'n cymdeithas ddynol.

Ofnaf nad oes llawer o obaith osgoi cynhesu byd eang i o leiaf 2°C ar gyfartaledd. Bydd yr ymateb i'r Seithfed Chwyldro yn rhy araf ac, o ganlyniad, rhaid fydd addasu i newidiadau niweidiol {23}. Ond erys rhai cwestiynau mawr. A ydym wedi cyrraedd penllanw'r gyfres o chwyldroadau ynni yn ymestyn dros 4 biliwn o flynyddoedd, bob un yn troi mwy a mwy o ynni yn gymhlethdod materol neu gymdeithasol ac yn cyflymu curiad bywyd? Er llwyddo i gynhyrchu digonedd o ynni a phŵer di-garbon a fuasai gwneud hynny yn arwain at greu cymhlethdodau materol a chymdeithasol eraill a fyddai mor enbyd fel y byddent yn lleihau, yn hytrach nag yn cynyddu, ein buddiannau a'n llesiant? Cymhlethdodau a fyddai, yn wir, â'r gallu i danseilio ein planed? A all y primat doeth ddarganfod ffyrdd amgenach o drefnu cymdeithasau'r dyfodol?

#### **Diolchiadau:**

Rwyf yn hynod ddyledus i John Llywelyn Williams a Lowri Wynne Williams am nid yn unig gaboli a gloywi'r Gymraeg, ond am eu sylwadau a'u cwestiynau treiddgar ar y testun, ac am iddynt fynnu esboniadau sydd, o ganlyniad, wedi egluro ystyr brawddegau ac agweddau ar y ddamcaniaeth. Rwyf yn ddiolchgar hefyd i sawl cyfaill am ddarllen yr ysgrif, naill ai yn Gymraeg neu yn Saesneg, a chyfrannu o'u gwybodaeth am bynciau arbenigol. Diolchaf hefyd i Elin Rhys a Cwmni Telescop ac i Huw Wyn Jones, Cwmni Pioden, am gynhyrchu'r ffygyrau.

#### **Cyfeiriadaeth:**

1. Richard Dawkins. (1989) **The Selfish Gene**, Oxford Landmark Science. (2004) **The Ancestors Tale**, Phoenix
2. Freeman Dyson. (1999) **Origins of Life**, CUP
3. R. Gareth Wyn Jones. (1978) 'Sylfeini Biocemegol Bywyd' yn **Y Creu (Y Gwyddonydd)**, gol. R. Gareth Wyn Jones a J. Ll. W. Williams, t. 104-112 Gwasg Prifysgol Cymru
4. R. Gareth Wyn Jones et al. (1979) **Ionic and Osmotic Relations in Plant Cells** yn *Recent Advances in the Biochemistry of Cereals* t. 63. gol. D.L. Laidman a R. Gareth Wyn Jones eds. Academic Press. Hefyd Roger Leigh a R. Gareth Wyn Jones, (1986) **Cellular Compartmentation in Plant Nutrition: The Selective Cytoplasm and the Promiscuous Vacuole**. Adv. Plant Nutrition 2, p. 249
5. Erwin Schrodinger. (1967) **What is Life? Mind and Matter**, CUP
6. Nick Lane. (2015) **The Vital Question: Why is Life the Way it is?**, Profile Books
7. Park S. Nobel. (1991) **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**, Academic Press
8. Lynn Margulis et al., (2006) **The Last Eukaryotic Universal Common Ancestor; Acquisition of cytoskeletal motility from aerotolerant spirochetes in the Proterozoic Eon**. PNAS USA 103, 13080-85.
9. Richard Wrangham. (2009) **Catching Fire; How Cooking made us Human**, Profile Books

10. Suzan Herculano-Houzel. (2016) **The Human Advantage: A New Understanding of how our Brain became Remarkable**, MIT Press
11. Jared Diamond. (2013) **The World Until Yesterday**, Penguin
12. Chris Stringer. (2011) **The Origin of Our Species**, Allen Lane
13. Yuval N. Hariri. (2011) **Sapiens: A Brief History of Humankind**, Vintage Books
14. Hugh Thomas. (1981) **An Unfinished History of the World**, Pan
15. David Lands. (1969) **The Unbound Prometheus**, PS of University of Cambridge
16. Antonio Domasio. (2004) **Looking for Spinoza**, Vintage
17. Marc Imhoff and Lahouari Bounoua. (2006) *Exploring global patterns of net primary production carbon supply and demand using satellite observations and statistical data.* J Geophys. Res.: Atmospheres.
18. Ian Morris. (2011) **Why The West Rules For Now**, Profile Books.
  
19. Earl Cook. (1971) **The Flow of Energy in an Industrial Society**, Scientific American 225:3, Sept.
20. David JC Mackay. (2008) **Sustainable Energy – Without the hot air**, UIT, Cambridge
21. IPCC 5<sup>th</sup> Assessment (2016) **Synthesis Report**
22. Pierre Friendlingstein et al., (2014) **Persistent Growth of CO<sub>2</sub> Emissions and Implications for Reaching Climate Targets**, (2014) Nature Geoscience 7, t.709
23. Michael Raupach et al., (2014) **Sharing a Quota on Cumulative Carbon Emissions**, Nature Climate Change 4, t. 873
24. R. Gareth Wyn Jones. (2013) Croesi'r Ffiniau neu Geisio Paradeim newydd. Y Traethodydd, Ionawr ac Ebrill a **Overshooting Limits: Seeking a New Paradigm.** (2012) in 'Wales' Central Organising Principle'. Eds. Nichol and Osmond, IWA  
[https://books.google.co.uk/books?id=4xr\\_F9fOZVOC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=overshooting+limits+gareth+wyn+jones&source=bl&ots=fpiqTPZudz&sig=rhP2CP07j8NTpEtQPygJPQ4JAK0&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwig7e7HwojTAhXMLcAKHejdDwAQ6AEIIDAB#v=onepage&q=overshooting%20limits%20gareth%20wyn%20jones&f=false](https://books.google.co.uk/books?id=4xr_F9fOZVOC&pg=PA69&lpg=PA69&dq=overshooting+limits+gareth+wyn+jones&source=bl&ots=fpiqTPZudz&sig=rhP2CP07j8NTpEtQPygJPQ4JAK0&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwig7e7HwojTAhXMLcAKHejdDwAQ6AEIIDAB#v=onepage&q=overshooting%20limits%20gareth%20wyn%20jones&f=false)
25. R. Gareth Wyn Jones. (2015) 'Y Storom Berffaith'. Y Faner Newydd, Rhagfyr.